

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta Strojní  
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

## Hydraulický manipulátor výrobní linky betonových plotových prvků

## Hydraulic Manipulator of Production Line of Concrete Fence Elements

Student:	Bc. Aleš Šefránek
Osobní číslo:	SEF0018
Vedoucí diplomové práce:	doc. Dr. Ing. Lumír Hružík

Ostrava 2020

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Aleš Šefránek**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2302T043 Hydraulika a pneumatika  
Téma: **Hydraulický manipulátor výrobní linky betonových plotových prvků**  
**Hydraulic Manipulator of Production Line of Concrete Fence Elements**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Popište princip funkce linky na výrobu betonových plotových prvků.
2. Navrhněte hydraulický pohon manipulátoru pro přesun formy z vibračního stolu na odkládací plošinu.
3. Proveďte potřebné výpočty a zpracujte hydraulické schéma včetně specifikace prvků.
4. Zpracujte konstrukční řešení hydraulického manipulátoru.

Seznam doporučené odborné literatury:

MURRENHOFF, H. *Fundamentals of Fluid Power. Part 1: Hydraulics*. Aachen: Verlag GmbH. 2014, 387 p. ISBN 978-3-8440-2826-3.  
PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy, díl 1. Kapaliny v hydraulických mechanismech. Hydrostatické převodníky*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009, 2. vyd., 156 s. ISBN 978-80-248-0857-4.  
PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy, díl 2. Řídicí prvky hydrostatických systémů. Příslušenství hydraulických obvodů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008, 2. vyd., 140 s. ISBN 978-80-248-1827-6.  
EXNER, H. et al. *Hydraulics, Basic Principles and Components*. Würzburg, Germany: Bosch Rexroth AG., 2011. 326 p. ISBN 978-3-9814879-3-0.  
WILL, D., GEBHARDT, N. *Hydraulik Grundlagen, Komponenten, Schaltungen*. Berlin: Springer, 2008, 4. vyd., 450 s. ISBN 978-3-540-79534-6.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Lumír Hružík**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



doc. Dr. Ing. Lumír Hružík  
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18. května 2020


A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Štěpán Bě', is written over a horizontal dotted line.

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB - TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB - TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020

  
.....  
Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Aleš Šefránek

Adresa trvalého pobytu autora práce: Majakovského 2047/6, Karviná-Mizerov

#### ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ŠEFRÁNEK, Aleš. *Hydraulický manipulátor výrobní linky betonových plotových prvků: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2020, 72 s. Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Lumír Hružík

Diplomová práce se zabývá návrhem hydraulického pohonu a konstrukčním řešením manipulátoru na výrobu betonových plotových prvků. V úvodní části je popsáno konkrétní zadání a funkce manipulátoru včetně popisu výrobní linky. Hlavní část obsahuje návrh hydraulického pohonu, výpočty parametrů pohonu, hydraulické schéma a popis jednotlivých hydraulických prvků. Dále je popsáno konkrétní konstrukční řešení manipulátoru, zakomponování pohonu a pohonné jednotky, včetně kontrolních pevnostních výpočtů ramen manipulátoru. V závěrečné části je provedeno zhodnocení řešení a splnění podmínek zadání.

#### ANNOTATION OF MASTER THESIS

ŠEFRÁNEK, A. *Hydraulic Manipulator of Production Line of Concrete Fence Elements: Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipment, 2020, 72 p. Thesis head: doc. Dr. Ing. Lumír Hružík

This master's thesis deals with a design of hydraulic drive and construction of a manipulator for concrete fence parts manufacturing. The introduction part provides specifications of the manipulator including description of a production line. The main part focuses on design of the hydraulic drive and calculation of drive's parameters. It also contains hydraulic diagram and description of used hydraulic elements. The next part deals with a structure of the hydraulic manipulator, including strength requirements analysis. Conclusion compares proposed design to given specifications.

# Obsah

Seznam použitých značek a symbolů.....	8
1 Úvod.....	10
2 Popis výrobní linky .....	11
2.1 Finální produkt výrobní linky .....	11
2.2 Výrobní linka .....	13
2.3 Specifikace parametrů manipulátoru .....	15
3 Návrh hydraulického pohonu .....	16
3.1 Výpočet maximálního momentu .....	17
3.2 Rychlosti pohybu ramene .....	21
3.3 Volba hydromotoru .....	23
3.3.1 Princip zvoleného hydromotoru .....	23
3.3.2 Parametry zvoleného hydromotoru .....	24
3.4 Volba hydrogenerátoru .....	26
3.4.1 Výpočet parametrů hydrogenerátoru .....	26
3.5 Návrh hydraulického obvodu.....	27
3.5.1 Sestava hydraulického agregátu .....	31
3.6 Blok brzdných ventilů.....	36
3.6.1 Brzdné ventily .....	37
3.6.2 Sedlový rozváděč .....	40
3.7 Volba proporcionálního rozváděče.....	41
4 Konstrukční řešení manipulátoru .....	44
4.1 Technické parametry manipulátoru .....	44
4.2 Popis manipulátoru.....	45
4.3 Umístění pohonu manipulátoru .....	48
4.4 Mechanismus pro přenos točivého momentu .....	50
4.4.1 Kontrola hřídele .....	51
4.5 Ramena manipulátoru .....	54
4.5.1 Výpočet parametrů pro návrh svěrného pouzdra .....	55
4.6 Snímání poloh ramene.....	58
4.7 Ovládací prvky.....	60
4.8 Krytování manipulátoru .....	61

5	Doporučení pro bezporuchový chod zařízení .....	62
5.1	Výměna provozní kapaliny hydraulického pohonu .....	63
5.2	Náhradní díly .....	64
6	Zhodnocení řešení .....	65
7	Závěr .....	66
	Seznam použitých zdrojů .....	68
	Seznam obrázků .....	70
	Seznam tabulek .....	71
	Seznam grafů .....	71
	Seznam příloh .....	72

## Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Název veličiny	Rozměr
$D$	Průměr hřídele	[mm]
$d_2$	Střední průměr závitu šroubu	[mm]
$f$	Součinitel smykového tření	[-]
$F_0$	Osová síla	[N]
$F_d$	Síla proti pružné deformaci	[N]
$F_{\max}$	Maximální síla od břemene	[N]
$F_{\max H}$	Maximální síla od břemen na jednu hřídel	[N]
$F_v$	Svěrná síla	[N]
$i$	Počet šroubů	[-]
$k$	Koeficient bezpečnosti	[-]
$m$	Hmotnost formy se směsí	[kg]
$M_{B\max}$	Maximální brzdňý moment	[Nm]
$M_k$	Točivý moment	[Nm]
$M_{k1}$	Přenášený točivý moment na jednom rameni	[Nm]
$m_{\max}$	Maximální zátěžová hmotnost	[kg]
$M_{\max}$	Maximální točivý moment rotátoru	[Nm]
$M_{\max H}$	Maximální točivý moment na jednu hřídel	[Nm]
$m_R$	Hmotnost ramene manipulátoru	[kg]
$M_T$	Třecí moment	[Nm]
$M_{Tdov}$	Dovolený třecí moment	[Nm]
$M_U$	Utahovací moment	[Nm]
$M_{Z\max}$	Maximální zátěžový moment	[Nm]
$n$	Otáčky	[min <sup>-1</sup> ]
$P$	Výkon	[W]
$p_{\max}$	Pracovní tlak rotátoru	[MPa]
$p_t$	Tlak pojistné sekce	[MPa]
$Q_{\max}$	Průtok pro maximální rychlost ramene manipulátoru	[m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
$Q_{\min}$	Průtok pro minimální rychlost manipulátoru	[dm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
$R$	Poloměr ramene manipulátoru	[mm]
$R_{Ax}$	Reakce v bodě A	[N]



$R_{Bx}$	Reakce v bodě B	[N]
$S$	Rozteč závitů	[mm]
$t_{max}$	Maximální čas pohybu ramene manipulátoru	[s]
$t_{min}$	Minimální čas pohybu ramene v maximálním rozsahu	[s]
$V_g$	Geometrický objem rotátoru	[dm <sup>3</sup> ]
$V_{gR180}$	Geometrický objem rotátoru pro rotaci 180°	[dm <sup>3</sup> ]
$v_{max}$	Maximální obvodová rychlost ramene manipulátoru	[m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
$W_k$	Modul průřezu v krutu	[mm <sup>3</sup> ]
$W_o$	Modul průřezu v ohybu	[mm <sup>3</sup> ]
$Z$	Řídící poměr brzdného ventilu	[-]
$\alpha$	Úhel profilu metrického závitu	[°]
$\gamma$	Redukovaný třecí úhel	[°]
$\Delta p_G$	Tlakový spád nastavený na hydrogenerátoru	[MPa]
$\Delta p_p$	Minimální řídící tlak	[MPa]
$\Delta p_{PR}$	Tlakový spád na proporcionálním rozváděči	[MPa]
$\Delta p_R$	Minimální tlakový spád na rotátoru pro dosažení momentu $M_{Zmax}$	[MPa]
$\Delta p_{RB}$	Maximální tlakový spád na rotátoru vyvolaný zátěží	[MPa]
$\Delta p_{RV}$	Tlakový spád na pojišťovacím ventilu	[MPa]
$\Delta p_V$	Tlaková ztráta způsobená vedením	[MPa]
$\sigma_o$	Ohybové napětí	[MPa]
$\sigma_{red}$	Redukované napětí	[MPa]
$\tau_k$	Napětí v krutu	[MPa]
$\varphi$	Úhel stoupání šroubovice	[°]
$\varphi_0$	Počáteční úhel pohybu formy se směsí	[°]
$\varphi_1$	Koncový úhel pohybu formy se směsí	[°]
$\varphi_2$	Úhel při maximálním pohybu	[°]
$\varphi_{max}$	Maximální úhel pohybu manipulátoru	[°]
$\varphi_R$	Maximální úhel rotace rotátoru	[°]
$\omega_{1max}$	Maximální snížená úhlová rychlost	[rad·s <sup>-1</sup> ]
$\omega_{1min}$	Minimální snížená úhlová rychlost	[rad·s <sup>-1</sup> ]
$\omega_2$	Maximální úhlová rychlost ramene manipulátoru	[rad·s <sup>-1</sup> ]

# 1 Úvod

Nedílnou součástí výrobního procesu je manipulace, ať již jde o přesun surovin, polotovarů, nebo hotových výrobků. Moderní výrobní technologie často vyžadují řešit manipulaci s ohledem na specifickou úlohu v daném výrobním procesu v součinnosti s dalšími výrobními zařízeními. Toto klade vysoké nároky nejen na konkrétní úlohu manipulátoru, ale i na jeho možnosti řízení, zástavbové rozměry, funkčnost, provozní náklady a efektivnost. V řadě úloh manipulační techniky se uplatňují hydraulické manipulátory nabízející řadu výhod, například vysoké výkony a síly s ohledem na jejich malé rozměry, spolehlivost a dlouhou životnost. V neposlední řadě však umožňují snadnou a plynulou regulaci a řízení, zejména s využitím moderních hydraulických prvků.

V této diplomové práci se zabývám návrhem manipulačního zařízení po přesun formy, obsahující zhutněnou směs betonu, z desky vibračního stolu na přepravní vozík. Tento manipulátor je součástí linky na výrobu dílů betonových plotů. Manipulační zařízení, jehož jsem autorem, bylo vyrobeno společností SUM-Odry s.r.o. pro výrobce betonových plotů. Zařízení je plně funkční a slouží svému účelu. Manipulátor je navržen pro specifickou úlohu jako jednoúčelové zařízení pro konkrétní výrobní technologii, splňující požadavky výrobce.

V práci budou popsány základní i specifické požadované parametry manipulátoru s ohledem na výrobní technologii linky. V praktické části bude popsána navržená koncepce řešení manipulátoru, jeho kinematika, pohon včetně řízení. Bude podrobně představen navržený hydraulický obvod, jednotlivé hydraulické prvky, včetně zakomponování do navrženého manipulačního zařízení. V teoretické části bude proveden výpočet základních parametrů pohonu a kontrolní pevnostní výpočet ramen manipulátoru. Závěrečná část obsahuje zhodnocení navrženého řešení a splnění podmínek zadání. Zde jsou také vyhodnoceny opotřebitelné díly a opatření nutná k bezvadnému a bezpečnému chodu zařízení.

## 2 Popis výrobní linky

Konstrukce jakéhokoli výrobního zařízení vyžaduje dokonalou znalost konkrétní funkce daného stroje, ale i znalost celkové výrobní technologie, pro kterou má být zařízení navrhováno. Ve většině případů jde o neustále se vyvíjející proces, při kterém dochází ke zdokonalování jednotlivých zařízení, nebo k jejich modifikacím. Hlavní cíle jsou například zvýšení efektivity výroby, zdokonalení výrobního procesu, odstranění namáhavé lidské práce.

Pro návrh konkrétního manipulačního zařízení bylo nutné nejprve přesně specifikovat veškeré požadavky na jeho funkci a z nich definovat konkrétní zadání s přesnými parametry. Vzhledem k tomu, že se nejednalo o novou výrobní linku, bylo nutné navrhnout zařízení v kontextu stávajících technologických zařízení. V neposlední řadě bylo také nutné přizpůsobit konstrukci obsluze s ohledem na bezpečnost a ergonomii.

### 2.1 Finální produkt výrobní linky

Finálním produktem výrobní linky jsou železobetonové plotové výplně ve tvaru desky a sloupky stavebnicového plotového systému (Obrázek 1). Prvky jsou vyráběny v mnoha provedeních a designových vzorech působících přirozeným vzhledem.



Obrázek 1 – Finální produkt výrobní linky [13]

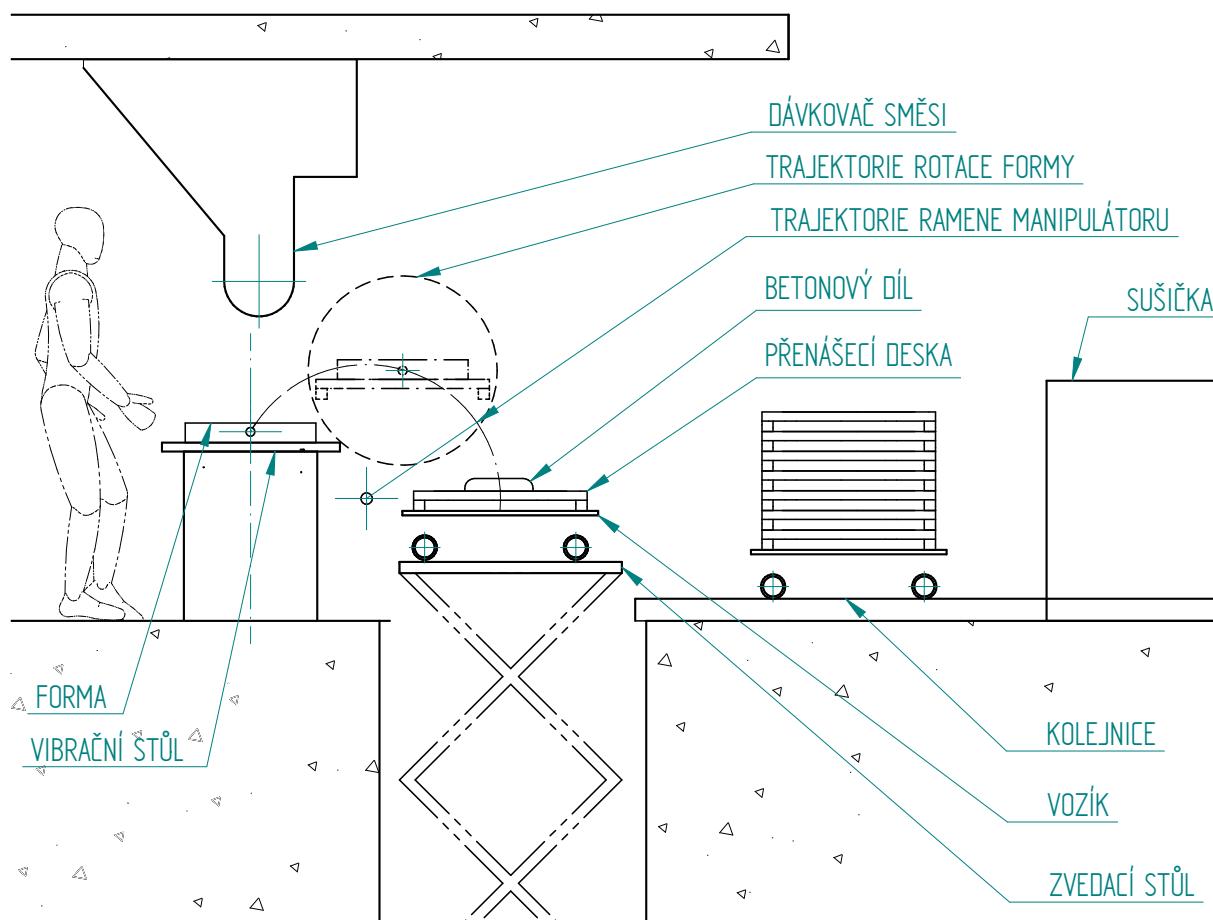
Hlavními výhodami železobetonového plotového systému jsou jeho snadná výstavba stavebnicovým systémem, úspora času a jednoduchá údržba nevyžadující další povrchovou úpravu. Jednotlivé komponenty plotového systému jsou vyráběny z lité cementové betonové směsi vyztužené ocelovými pruty.

Beton je jako stavební materiál používán na mnoha stavbách ať už se jedná o základy, podlahy, nebo stropní konstrukce. Stavby jako jsou například mosty, přehrady, tunely a mnohé další, by bez použití železobetonu ani nebyly možné [12]. Vývoj technologie zpracování betonu umožnil posun ve využití tohoto materiálu. Příkladem může být právě stavebnicový plotový systém. Cementový beton je kompozitní stavební materiál složený z kameniva (písku, šterku, drtě) vhodných frakcí a vody, kde pojivem je cement. Pro dosažení vhodných vlastností se do směsi přidávají různé přísady a příměsi. Během tuhnutí směsi dochází k fyzikálním a chemickým procesům, při kterých materiál získává své specifické vlastnosti jako jsou např. pevnost, trvanlivost, mrazuvzdornost. [12]

V průběhu výroby betonových plotových prvků je litý beton zhutňován vibrační technologií ve speciální formě, která je vhodně ošetřena, aby nedošlo k přilnutí směsi na její povrch a bylo možné zhutněnou směs ihned po procesu zhutňování oddělit od formy. Zhutňováním dochází k vypuzení vzduchových bublin, přebytečné vody ze směsi a k dokonalejšímu zatečení směsi do formy. V této fázi je do zhutňované směsi vložena připravená ocelová výztuha dodávající dílu vyšší tahovou pevnost. Pokud je směs ve formě správně zhutněna, je možné dílec opatrně vyklopit na přenášecí desku. V další fázi je nutné nechat dílce ve vhodných podmínkách vyzrát, čímž dojde k vykrytalizování betonové směsi. Proces krystalizace je urychlován s rostoucí teplotou, proto jsou vyrobené díly přemístěny do sušičky, kde dochází k jejich vyzrání.

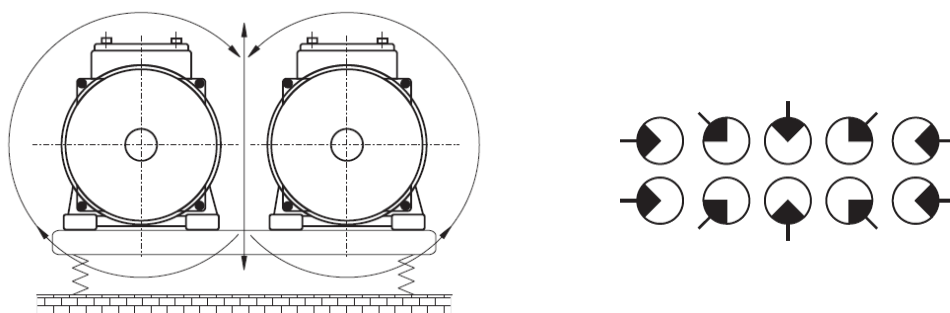
## 2.2 Výrobní linka

Navrhovaný manipulátor je součástí výrobní linky sloužící k výrobě betonových plotových prvků (Obrázek 2).



Obrázek 2 – Schéma výrobní linky

Speciální forma konkrétního betonového dílce je umístěna na desce vibračního stolu a je fixována mezi dvěma otočnými čepy upevněnými na ramenech manipulátoru. Zároveň je forma pomocí ramen manipulátoru přitlačována k desce vibračního stolu, tak aby docházelo k optimálnímu přenosu vibrací z desky vibračního stolu do betonové směsi ve formě. V prvním kroku operátor nadávkuje dávkovačem směsi přesně odměřený objem litého betonu do formy. Operátor spustí vibrační stůl, jehož vibrace jsou buzeny dvojicí elektrických vibromotorů, které jsou upevněny ze spodní strany desky vibračního stolu. Uspořádání vibromotorů a směr otáčení definuje typ buzených vibrací. V tomto případě je smysl otáčení vibromotorů protiběžný, čímž je dosahováno buzení lineárních vibrací na desce vibračního stolu (Obrázek 3).



Obrázek 3 – Usměrněné kmity dvojice vibromotorů [11]

Vibrace jsou přenášeny prostřednictvím formy do litého betonu, který je tímto zhutňován. V průběhu procesu zhutňování operátor vtlačí do materiálu připravené ocelové výztuhy a provede začištění horní plochy dílce. Po dokonalém zhutnění směsi operátor vypne vibrace a dočistí horní plochu dílce. Následně na formu upne přenášeč deskou. Přenášeč deskou slouží jako opora zhutněné a vytvarované betonové směsi v dalším procesu. Poté operátor provádí přesun formy s betonovým dílcem na přepravní vozík při současné rotaci formy o  $180^\circ$ . Po dosednutí na přepravní vozík operátor odjistí přenášeč deskou od formy a pohybem ramen manipulátoru zpět dojde k oddělení zhutněné betonové směsi „betonového dílu“ od stěn formy. Forma je přenesena po stejné trajektorii při současném otočení o  $180^\circ$  na desku vibračního stolu, čímž je připravena k opakování procesu výroby. Přepravní vozík je fixován na kolejnicích upevněných k desce zvedací plošiny. Zvedací plošina přesune umístěnou desku s betonovým dílem o její výšku směrem dolů, tím je připraven odkládací prostor pro další desku s betonovým dílem. Toto řešení umožňuje zachovat stejnou trajektorii pohybu formy, při možnosti uložení na přepravní vozík až deseti desek s betonovými díly. Po dosažení požadovaného počtu dílů na přepravním vozíku je plošina vysunuta a fixována na úroveň kolejnic tak, aby bylo možné přesunout přepravní vozík do sušičky.

## 2.3 Specifikace parametrů manipulátoru

Manipulátor bude přenášet formu se zhutněnou směsí z desky vibračního stolu na odkládací desku přepravního vozíku.

Zadané parametry:

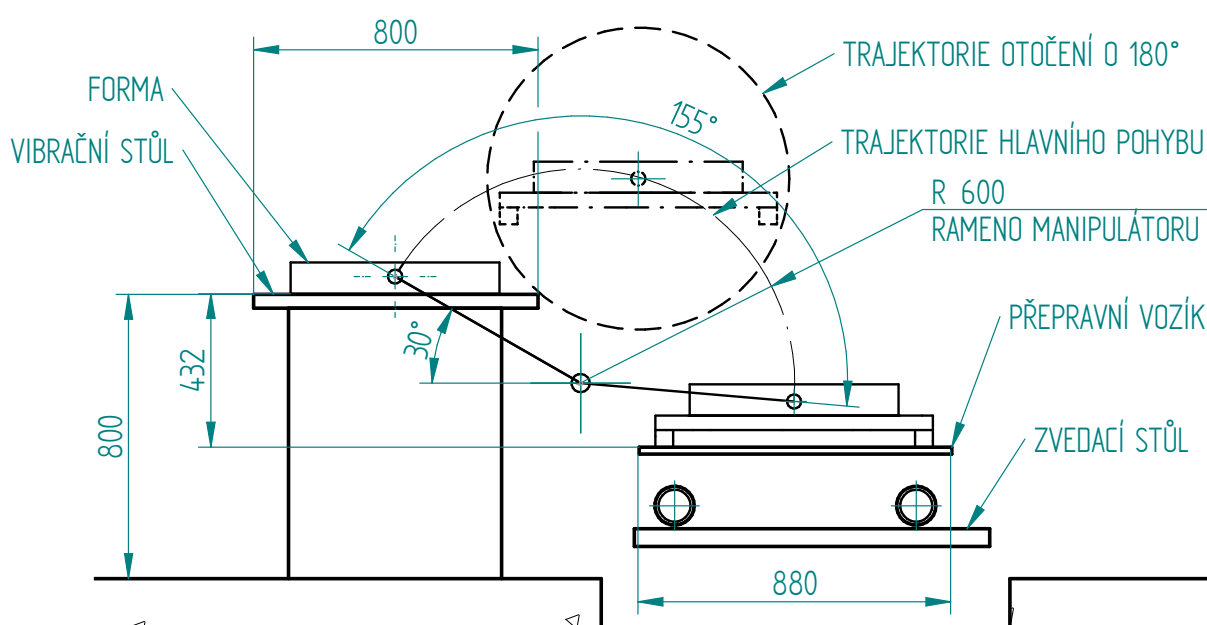
- hmotnost formy (10 ÷ 20) kg
- hmotnost formy se směsí (80 ÷ 150) kg
- čas pohybu v jednom směru (10 ÷ 15) s
- frekvence zdvihů (45 ÷ 60) za 7,5 hodinovou pracovní směnu
- pracovní podmínky normální

V průběhu přesunu musí být možné překlopení formy o 180° tak, aby po uložení na odkládací plošinu mohlo dojít k vyklopení zhutněné směsi betonu. Po vyklopení je forma opět přesunuta na desku vibračního stolu při současném překlopení o 180° do původní polohy. Průběh pohybu formy obsahující zhutněnou směs musí být plynulý. V koncových polohách při pokládání formy musí být rychlost pohybu zpomalena, aby nedošlo k nárazu na odkládací stůl a tím k porušení zhutněné betonové směsi. Stejně tak musí být zpomalen pohyb formy při zvedání v okamžiku oddělování (vyklápění) zhutněné směsi od formy, tak aby nedošlo k jejímu porušení. Oproti tomu pohyb mezi vibračním stolem a formou musí být rychlejší s ohledem na produktivitu práce.

Další specifický požadavek je na manipulátor kladen v průběhu zhutňování směsi na vibračním stole. Při zhutňování směsi musí rameno manipulátoru vyvíjet požadovaný tlak na desku vibračního stolu tak, aby byly správně přenášeny vibrace na formu a tím docházelo ke zhutňování směsi. Spojení mezi formou a ramenem manipulátoru by mělo být vhodně konstruováno, aby nedocházelo k přenosům vibrací z formy dále do manipulátoru.

### 3 Návrh hydraulického pohonu

V první části návrhu hydraulického pohonu manipulátoru bylo nutné stanovit kinematiku manipulátoru, která musí vyhovovat zadaným funkčním parametrům a zástavbovým rozměrům pro integraci do výrobní linky. Při návrhu jsem vycházel z rozmístění jednotlivých technologií v lince, aby nebylo nutné zasahovat do zástavbových rozměrů linky. Také zde byla snaha o co nejkratší možnou trajektorii s ohledem na manipulovanou hmotnost, možnost přesunu v nejkratším časovém intervalu a k ergonomii pro obsluhu. Navržená kinematika určuje trajektorii pohybu formy pro přesun z desky vibračního stolu na přepravní vozík a také umožňuje překlopení formy o  $180^\circ$  v průběhu pohybu (Obrázek 4).



Obrázek 4 – Kinematika pohybu

Z navržené kinematiky pohonu je možné stanovit základní rozměry pro výpočet parametrů hydromotoru.

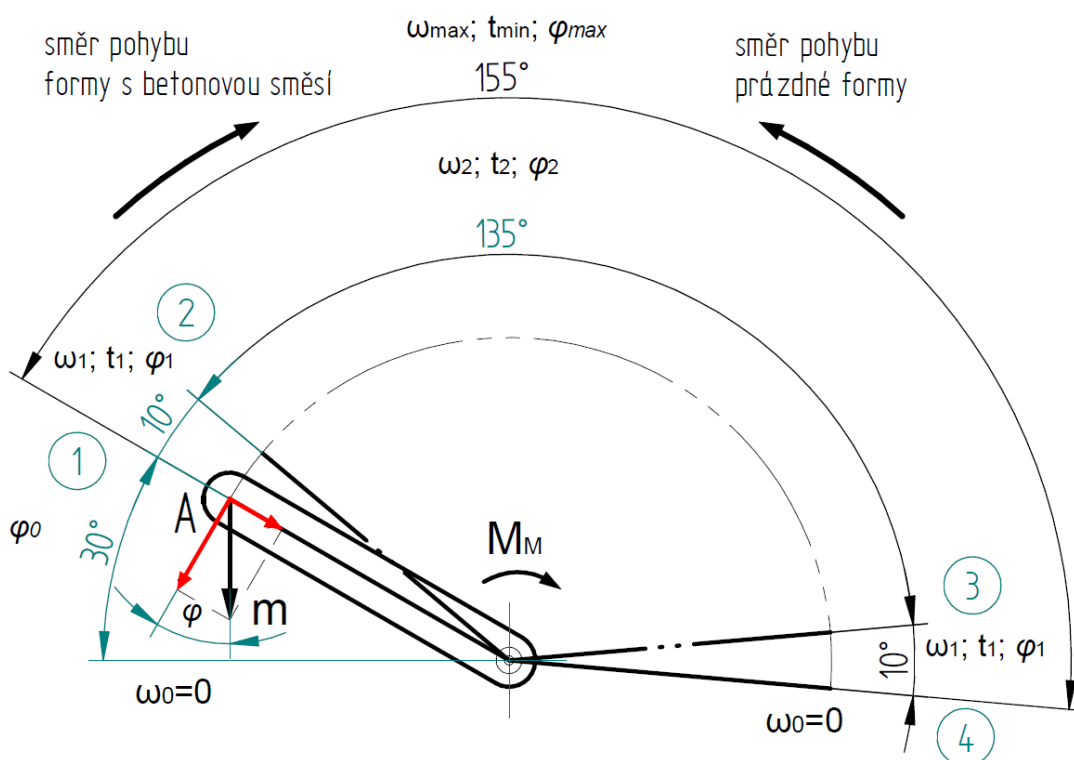
$R = 600 \text{ mm}$	– poloměr ramene manipulátoru
$\varphi_{max} = 155^\circ$	– maximální úhel pohybu formy
$\varphi_0 = 30^\circ$	– počáteční úhel pohybu formy se směsí



### 3.1 Výpočet maximálního momentu

Jak je patrné z kinematického schématu (Obrázek 5) při pohybu formy ze své výchozí polohy 1 bude moment zátěže klesat v závislosti na úhlu natočení  $\varphi$  ramen manipulátoru. Moment zátěže dosáhne svou nulovou hodnotu při svislé poloze ramen manipulátoru. Při pokračování pohybu bude moment zátěže nabývat záporných hodnot. Při klesání ramen bude muset pohon pro udržení rychlosti vyvíjet brzdňý moment, až do chvíle, kdy ramena manipulátoru dosáhnou své koncové polohy 4. V této poloze dojde k položení přetočené formy na přepravní vozík. Operátor odjistí přenášeč deskou od formy a dojde k vyklopení betonového dílu z formy. Polohy 2 a 3 vymezují úhel při kterém se pohybuje rameno maximální rychlostí. V úseku mezi polohou 1 až 2 a 3 až 4 se rameno pohybuje sníženou rychlostí.

Pohyb v opačném směru, kdy dochází k návratu již prázdné formy, bude opět moment zátěže klesat v závislosti na natočení ramen manipulátoru, přes svou nulovou hodnotu ve svislé poloze ramen. Při klesání bude moment zátěže nabývat záporných hodnot. Opět bude muset pohon v této fázi vyvíjet brzdňý moment až do chvíle, kdy forma dosáhne své počáteční polohy 1.



Obrázek 5 – Kinematické schéma

Z předešlého rozboru je patrné, že maximální zátěžový moment  $M_{Z \max}$  nastane ve chvíli, kdy dochází ke zvedání formy s betonovou směsí z desky vibračního stolu při počátečním úhlu  $\varphi_0 = 30^\circ$ . Oproti tomu maximální brzdňý moment  $M_{B \max}$  bude dosažen ve chvíli, kdy dochází k pokládání formy s betonovou směsí na odkládací plošinu  $\varphi_0 = 10^\circ$ . V opačném směru se bude pohybovat pouze prázdná forma a zátěžový i brzdňý moment bude minimální se stejným průběhem. Zátěžový i brzdňý moment se bude měnit v závislosti na poloze ramen manipulátoru, viz vztah (1). S ohledem na rozběh a brždění je nutné uvažovat s dynamickým momentem  $M_d$ , viz vztah (2), který působí na hřídel v okamžiku rozběhu a brždění pohonu. [3]

$$M_{(\varphi)} = m \cdot g \cdot \cos \varphi \cdot R \quad (1)$$

$$M_d = J \cdot \varepsilon \quad (2)$$

Pro bezpečný provoz manipulátoru je nutná přiměřená obvodová rychlost konců ramen manipulátoru. Obsluha musí v průběhu přesunu formy vykonat její rotaci o  $180^\circ$ . S ohledem na tyto požadavky volím maximální obvodovou rychlost  $v_{\max} = 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  a rozběhový čas pro dosažení maximální rychlosti volím  $t_r = 0,75 \text{ s}$ .

#### Maximální úhlová rychlost ramene manipulátoru $\omega_2$

$$\omega_2 = \frac{v_{\max}}{R} = \frac{0,2}{0,6} = 0,33 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (3)$$

#### Výpočet maximálního zátěžového momentu

$$M_{Z \max} = m_{\max} \cdot g \cdot \cos \varphi_0 \cdot R + M_d \quad (4)$$

$$M_{Z \max} = 170 \cdot 9,81 \cdot \cos 30^\circ \cdot 0,6 + 27 = 896,6 \text{ Nm} \doteq 900 \text{ Nm}$$

kde:

$$m_{\max} = m + m_R = 150 + 20 = 170 \text{ kg} \quad (5)$$

$$m = 150 \text{ kg} \quad \text{— hmotnost formy se směsí}$$

$$m_R = 20 \text{ kg} \quad \text{— hmotnost ramene vztažena do bodu A}$$

$$R = 600 \text{ mm} \quad \text{— délka ramene manipulátoru}$$

$$\varphi_0 = 30^\circ \quad \text{— počáteční úhel pohybu formy se směsí}$$

$$\varepsilon = \frac{\omega_2}{t_r} = \frac{0,33}{0,75} = 0,44 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad \text{— úhlové zrychlení ramen manipulátoru}$$

$$J = 67,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad \text{— moment setrvačnosti ramene a formy se směsí}$$

$$M_d = J \cdot \varepsilon = 67,8 \cdot 0,44 = 29,8 \doteq 30 \text{ Nm} \quad (6)$$

Moment setrvačnosti ramene a formy se směsí jsem s výhodou stanovil v 3D modeláři programu Solid Edge (Obrázek 6).

Fyzikální vlastnosti - celá sestava

☐ Uživatelské vlastnosti

Souřadnic. systém:  
Modelový prostor

☒ Aktualizovat při uložení souboru

**Obecné** **Hlavní**

Hmotnost: 268,592 kg  
Objem: 59927939,570 mm<sup>3</sup>

Předefinovat hmotnost pro počet: 268,592 kg ☐ Použít jako hmotnost sestavy

**Těžiště** ☐ Zobrazit značku **cm**

X: 0,00 mm  
Y: 358,52 mm  
Z: 206,99 mm

**Hmotný střed objemu** ☐ Zobrazit značku **cm**

X: 0,00 mm  
Y: 428,40 mm  
Z: 247,34 mm

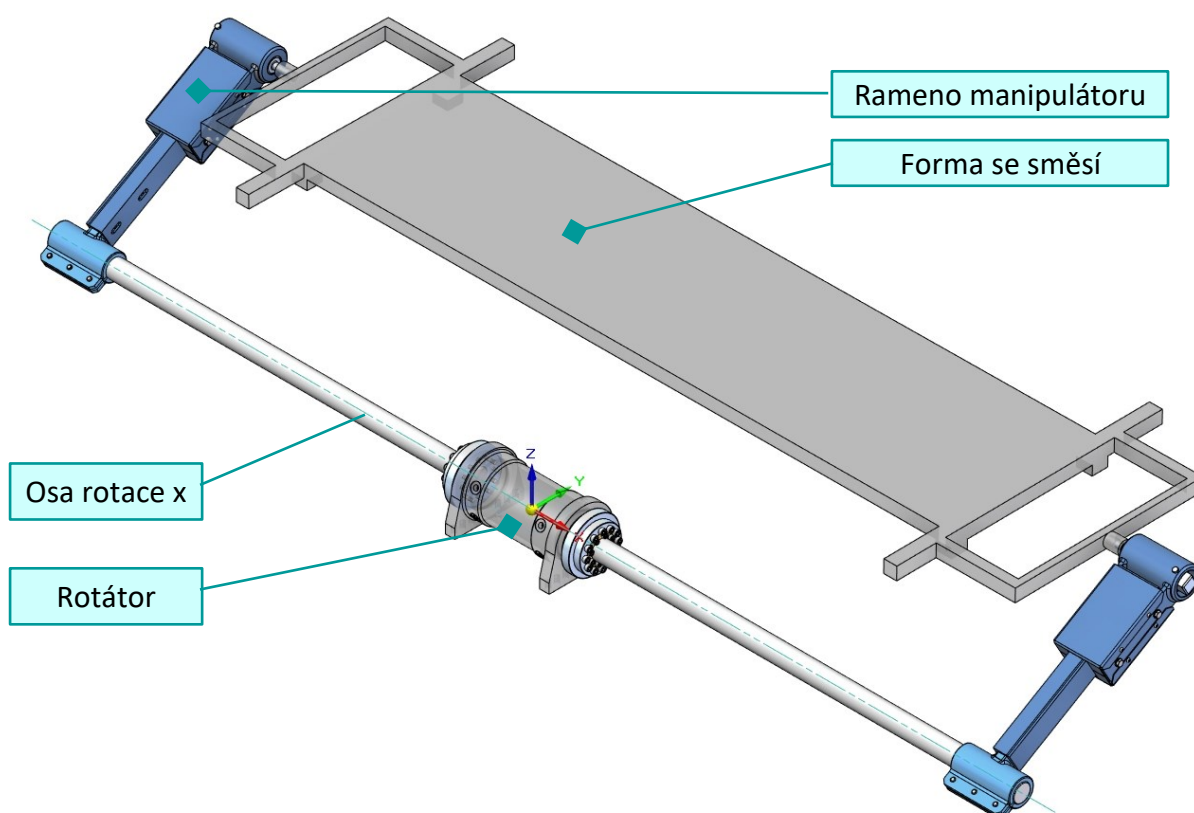
**Hlavní momenty setrvačnosti**

**Ixx:** 67,796 kg·m<sup>2</sup> **Iyy:** 226,334 kg·m<sup>2</sup> **Izz:** 261,545 kg·m<sup>2</sup>

**Ixy:** 0,000 kg·m<sup>2</sup> **Ixz:** 0,000 kg·m<sup>2</sup> **Iyz:** 28,099 kg·m<sup>2</sup>

Fyzikální vlastnosti jsou aktuální.

Aktualizovat Zavřít Uložit jako... Nápověda



Obrázek 6 - Moment setrvačnosti ramena a formy se směsí 3D Solid Edge

### Výpočet maximálního brzdného momentu

$$M_{B \max} = m_{\max} \cdot g \cdot \cos \varphi_1 \cdot R + M_d \quad (7)$$

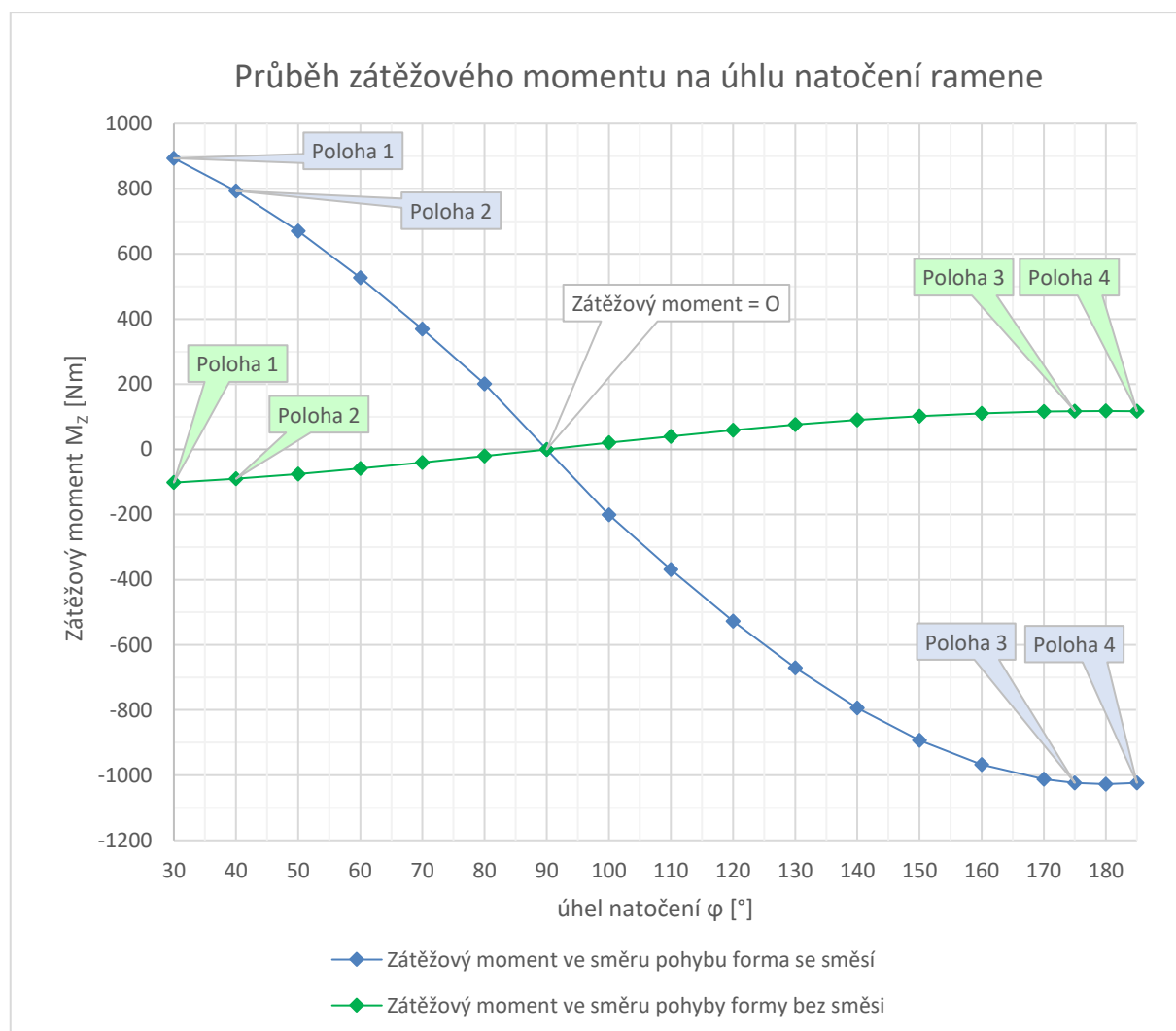
$$M_{B \max} = 170 \cdot 9,81 \cdot \cos 10^\circ \cdot 0,6 + 30 = 1015,4 \text{ Nm} \doteq 1020 \text{ Nm}$$

kde:

$$\varphi_1 = 10^\circ \quad - \text{koncový úhel pohybu formy se směsí}$$

Vypočtené hodnoty budou dále použity pro výpočet potřebných tlakových spádů na hydromotoru. Maximální brzdný moment  $M_{B \max}$  odpovídá maximálnímu točivému momentu přenášenému z pohonu na ramena manipulátoru  $M_k$ . Průběh zátěžového momentu závisí na úhlu natočení ramen manipulátoru (Graf 1). Jednotlivé polohy vyznačené v grafu jsou popsány v kapitole 3.1.

$$M_k = M_{B \max} \doteq 1020 \text{ Nm}$$



Graf 1 – Průběh zátěžového momentu na úhlu natočení ramene

### 3.2 Rychlosti pohybu ramene

Dle zadaných parametrů má dojít k přemístění formy z desky vibračního stolu na přepravní vozík za 10 až 15 s. Dalším požadavkem je snížení rychlosti pohybu při pokládání i zvedání formy. Snížení rychlosti má umožnit obsluhu pohodlnou a šetrnou manipulaci s formou v koncových polohách, aby nedocházelo k rázům a tím k porušení ztuhlé betonové směsi. Snížení rychlosti v koncových polohách nebylo možné zákazníkem stanovit z důvodu výroby rozdílných dílů, kdy podle typu, velikosti, hmotnosti a také složení zpracovávané směsi je požadována možnost nastavení požadované rychlosti. Pro výpočet rychlostí budu uvažovat minimální čas pro přesun formy.

- $\varphi_{\max} = 155^\circ$  – celková dráha pohybu ramene
- $t_{\min} = 10 \text{ s}$  – minimální čas pohybu ramene v maximálním rozsahu
- $\varphi_1 = 10^\circ$  – úhel pohybu ramene sníženou rychlostí
- $\omega_2 = 0,33 \text{ rad. s}^{-1}$  – maximální úhlová rychlost ramene manipulátoru

**Úhel při maximální úhlové rychlosti  $\omega_2$**

$$\varphi_2 = \varphi_{\max} - 2 \cdot \varphi_1 = 155 - 2 \cdot 10 = 135^\circ \quad (8)$$

**Čas pohybu maximální úhlovou rychlostí  $\omega_2$**

$$\omega_2 = \frac{\varphi_2}{t_2} \Rightarrow t_2 = \frac{\varphi_2}{\omega_2} = \frac{135 \cdot \frac{\pi}{180}}{0,33} = 7,1 \text{ s} \quad (9)$$

**Čas pohybu sníženou úhlovou rychlostí  $\omega_{1\max}$**

$$t_{\min} = 2 \cdot t_1 + t_2 \Rightarrow t_1 = \frac{t_{\min} - t_2}{2} = \frac{10 - 7,1}{2} = 1,5 \text{ s} \quad (10)$$

**Snížená úhlová rychlost  $\omega_{1\max}$**

$$\omega_{1\max} = \frac{\varphi_1}{t_1} = \frac{10 \cdot \frac{\pi}{180}}{1,5} = 0,12 \text{ rad. s}^{-1} \quad (11)$$

Rychlost ramene v koncových polohách může být regulována dle požadavků výroby. Pokud uvažuji dle zadaných parametrů maximální dobu  $t_{\max} = 15 \text{ s}$ , při přemístění formy z desky vibračního stolu na přepravní vozík může dojít k snížení úhlové rychlosti.

- $t_{\max} = 15 \text{ s}$  – maximální čas pohybu ramene v maximálním rozsahu

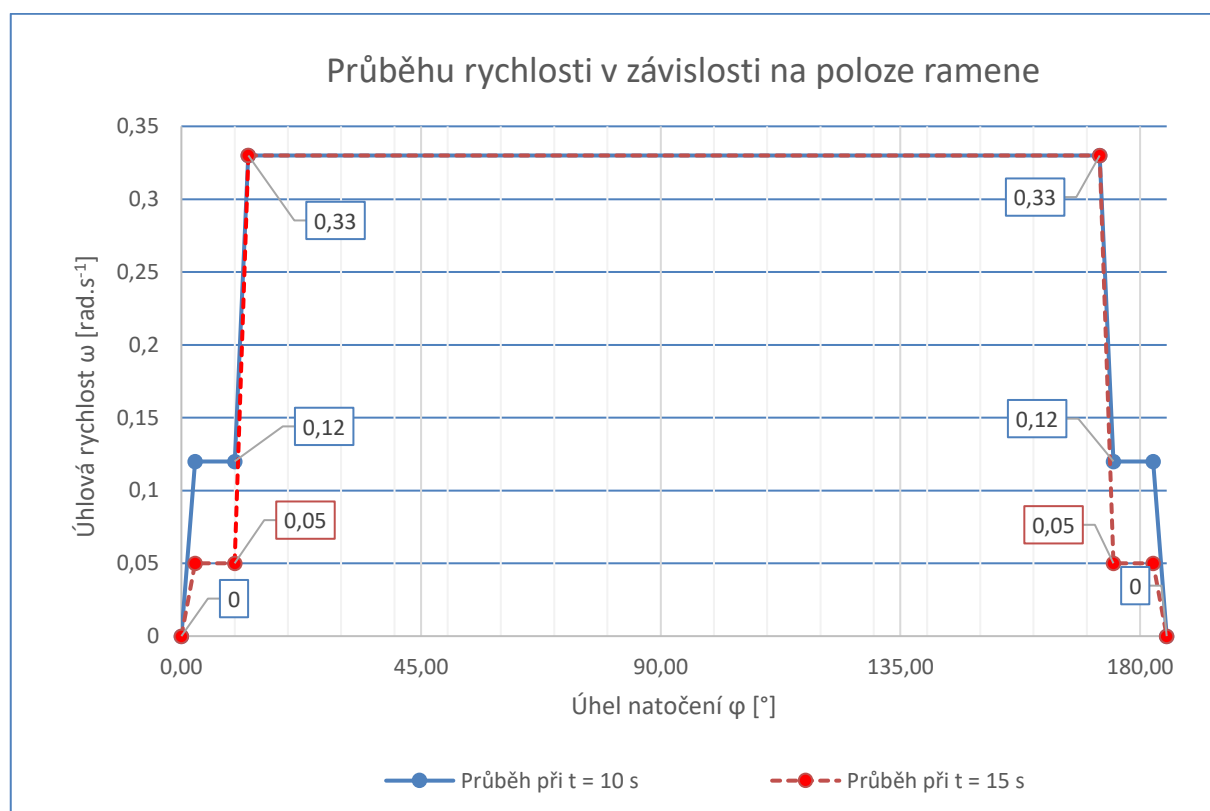
**Čas pohybu sníženou úhlovou rychlostí  $\omega_{1\min}$**

$$t_{\max} = 2 \cdot t_{1\max} + t_2 \Rightarrow t_{1\max} = \frac{t_{\max} - t_2}{2} = \frac{15 - 7,1}{2} = 3,95 \text{ s} \quad (12)$$

### Snížená úhlová rychlost $\omega_{1\min}$

$$\omega_{1\min} = \frac{\varphi_1}{t_1} = \frac{10 \cdot \frac{\pi}{180}}{3,95} = 0,05 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (13)$$

Rychlost pohybu ramen manipulátoru je závislá na úhlu natočení ramen (Graf 2). Jak je patrné v počáteční a koncové poloze je rychlost pohybu manipulátoru snížena pro úhel  $10^\circ$  na úhlovou rychlost v rozsahu  $0,05 \div 0,12 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ . Maximální rychlost ramene manipulátoru je omezena bezpečným provozem na hodnotu  $0,33 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ .



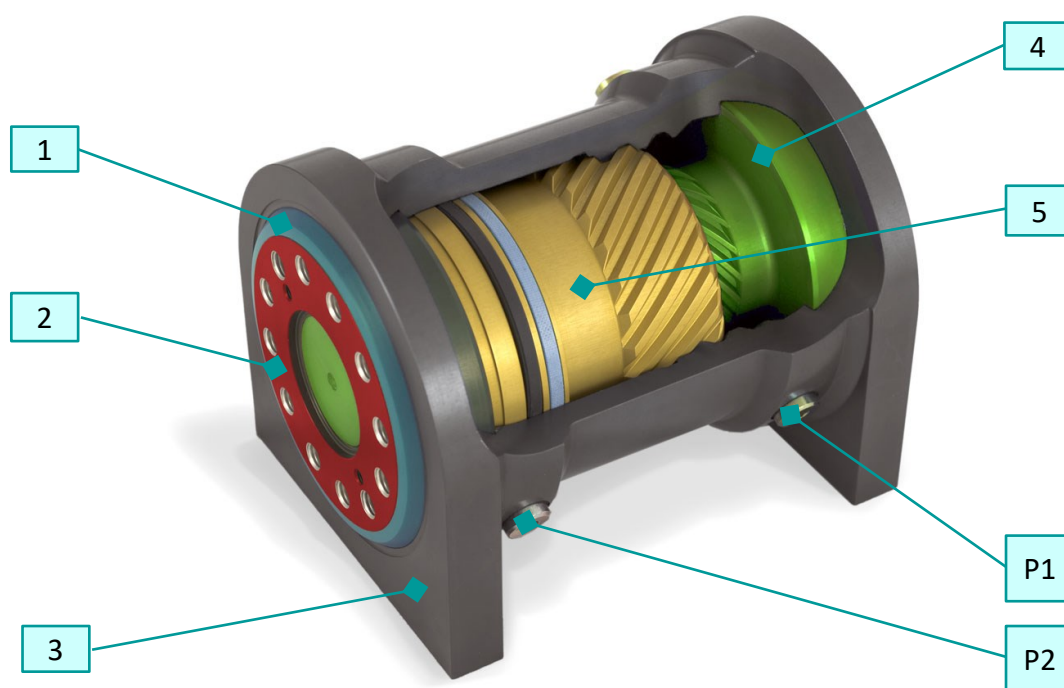
Graf 2 – Průběh rychlosti pohybu ramene v závislosti na poloze

### 3.3 Volba hydromotoru

Vzhledem k trajektorii, rozsahu pohybu a poměrně malým zástavbovým rozměrům bylo nutné navrhnout vhodný hydraulický pohon. Pohon by měl vykonávat rotační pohyb v rozsahu minimálně 160° s minimálním točivým momentem 1020 Nm. Pro tuto aplikaci jsem s výhodou využil hydraulický rotátor firmy HKS typ XtraTilt. [9]

#### 3.3.1 Princip zvoleného hydromotoru

Tyto rotátory jsou primárně využívány jako kyvné pohony v mobilní stavební technice. Hlavní výhody těchto rotátorů jsou kompaktní konstrukce a malé zástavbové rozměry vzhledem k přenášeným výkonům. Jednoduchý mechanismus pohonu zajišťuje jeho vysokou spolehlivost a dlouhou životnost i v náročných podmínkách. [9] Rotační příruba pro přenos pohybu je umístěna po obou stranách s možností vystředění na jejím osazení. Rotátor je opatřen kluznými ložisky s vysokou únosností, těsněnými ochrannými kroužky proti vnikání nečistot.



Obrázek 7 – Rotátor BVC Popis [9]

- 1 – Kluzná ložiska s ochranným kroužkem
- 2 – Rotační příruba
- 3 – Kompaktní pouzdro
- 4 – Hřídel

- 5 – Píst
- P1 – Vstup tlakové kapaliny
- P2 – Vstup tlakové kapaliny

Rotátor se skládá z pevného válcového pouzdra 3, hřídele 4 uložené v kluzných ložiscích a prstencového pístu 5 (Obrázek 7). Prstencový píst má na vnější straně spirálové drážky, které zapadají do odpovídajících spirálových drážek pevného válcového pouzdra. Vnitřní strany prstencového pístu mají spirálové drážky zapadající do odpovídajících drážek hřídele. Rozdílem tlakových spádů na stranách pístu dochází k přímočarému pohybu prstencového pístu při jeho současné rotaci. Rotaci prstencového pístu je rotace přenášena prostřednictvím jeho vnitřních spirálových drážek na hřídel rotátoru.

### 3.3.2 Parametry zvoleného hydromotoru

Pro pohon ramena manipulátoru jsem zvolil rotátor výrobce HKS typ XtraTilt BVC 115 180 S5959 s maximálním úhlem rotace 180°. Základní parametry rotátoru jsou uvedeny v tabulce 2, výrobce neuvádí ve svých podkladech maximální točivý moment při pracovním tlaku, ale pouze „zádržnou sílu“ označující maximální moment zatížení rotátoru při uzamčeném hydraulickém obvodu. Dotazem na výrobce byl zjištěn maximální točivý moment 1100 Nm při pracovním tlakovém spádu 190 bar. Geometrický objem rotátoru je uveden na rotaci 180° a činí 0,513 dm<sup>3</sup>.

Tabulka 1 – Parametry rotátoru [9]

Velikost	1.8–3.8			
XTRATILT / Rozměr	115			
Délka [mm]	264	306	344	275
Výška [mm]	187	187	187	192
Šířka [mm]	220	220	220	220
Hmotnost [kg]	42	47	52	43
Geometrický objem [dm <sup>3</sup> ]	0 284	0 399	0 513	0 527
Rozsah pohybu	100°	140°	180°	178°
Pracovní tlak [bar]	190	190	190	210
Zádržná síla [Nm]	4300	4300	4300	4300
XTRATILT BV typ	C			D

#### Parametry zvoleného pohonu:

$$\Delta p_{\max} = 19 \text{ MPa}$$

– pracovní tlakový spád rotátoru

$$M_{\max} = 1100 \text{ Nm}$$

– maximální točivý moment rotátoru při  $p_{\max}$

$$V_{gR180} = 0,513 \text{ dm}^3$$

– geometrický objem rotátoru pro rotaci 180°

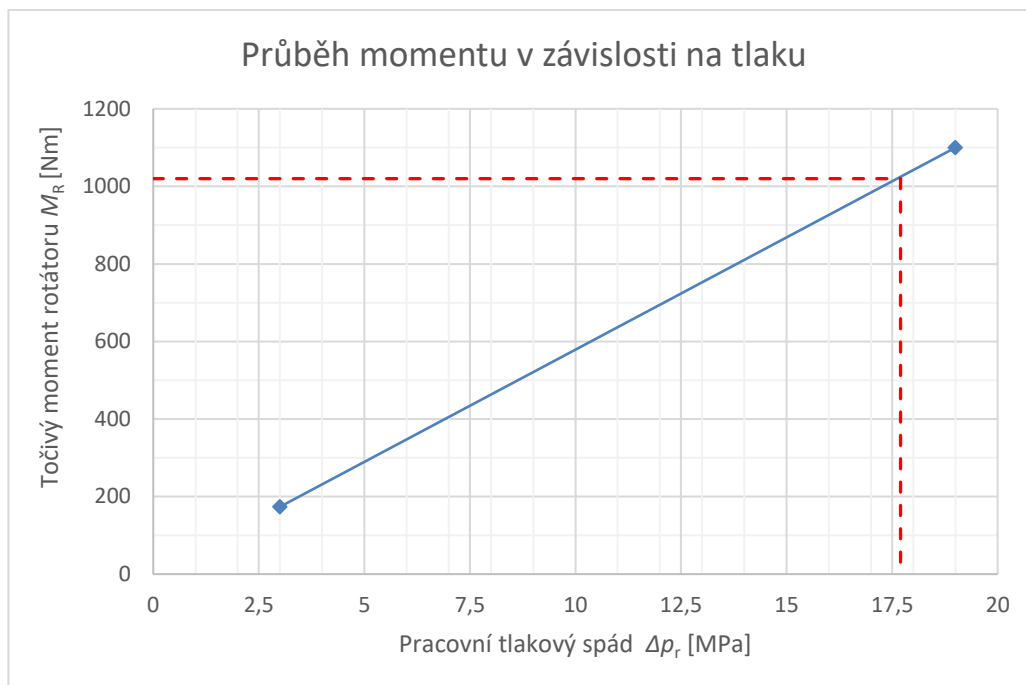
$$\varphi_R = 180^\circ$$

– maximální úhel rotace rotátoru



Z výše uvedených parametrů je možné určit momentovou charakteristiku daného rotátoru v závislosti momentu  $M_R$  na tlakovém spádu  $\Delta p_r$  (Graf 3).

$$M_{R(\Delta p)} = \frac{M_{\max}}{\Delta p_{\max}} = \frac{1100}{19} = 57,8 \frac{\text{Nm}}{\text{MPa}} \quad (14)$$



Graf 3 – Průběh momentu v závislosti na tlaku

Z charakteristiky je možno určit minimální potřebný tlakový spád na rotátoru, kdy maximální točivý moment pro zvedání formy se zátěží je 1020 Nm.

#### Minimální tlakový spád na rotátoru pro dosažení potřebného točivého momentu

$$\Delta p_R = \frac{M_{R\min}}{57,8} = \frac{900}{57,8} = 15,6 \text{ MPa} \quad (15)$$

Při spouštění bude maximální točivý moment na hřídeli vyvolaný zátěží 1020 Nm, tento moment bude produkovat tlakový spád na rotátoru  $\Delta p_{RB} = 17,7 \text{ MPa}$ , viz vztah (16).

#### Maximální tlakový spád na rotátoru vyvolaný zátěží při spouštění

$$\Delta p_{RB} = \frac{M_{RB\min}}{57,8} = \frac{1020}{57,8} = 17,7 \text{ MPa} \quad (16)$$

Z důvodu pokrytí tlakových ztrát v hydraulickém obvodu a mechanických ztrát způsobených třením volím nastavení tlaku v obvodu pojišťovacím ventilem na hodnotu:

$$p_{PV} = 19 \text{ MPa.}$$

### 3.4 Volba hydrogenerátoru

Jako zdroj tlakové kapaliny pro pohon rotátoru jsem zvolil neregulační hydrogenerátor s využitím odlehčovacího ventilu. Po zapnutí elektromotoru hydrogenerátoru dochází k volnému přepouštění kapaliny, přes odlehčovací ventil do nádrže. Toto řešení umožní minimální energetickou náročnost hydrogenerátoru v časovém intervalu, kdy nedochází k práci rotátoru a zamezí častému spínání elektromotoru. [4] [5]

#### 3.4.1 Výpočet parametrů hydrogenerátoru

Při výpočtu potřebného průtoku hydrogenerátoru jsem vycházel z maximální vypočtené úhlové rychlosti rotátoru  $\omega_2 = 0,33 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$  a geometrického objemu, který je uveden pro rotaci  $180^\circ$   $V_{gR180} = 0,513 \text{ dm}^3$ . Pro dosažení požadované maximální úhlové rychlosti platí:

**Průtok pro maximální rychlost ramene [1]**

$$Q_{\max} = V_g \cdot n = 2 \cdot V_g \cdot \frac{\omega_2}{2\pi} = V_g \cdot \frac{\omega_2}{\pi} \quad (17)$$

$$Q_{\max} = 0,513 \cdot \frac{0,33}{\pi} = 0,0538 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 0,538 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 3,2 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

kde:

$$V_g = 2 \cdot V_{gR180} \quad - \text{geometrický objem rotátoru} \quad (18)$$

$$\omega_2 = 2\pi \cdot n \Rightarrow n = \frac{\omega_2}{2\pi} \quad - \text{otáčky rotátoru při maximální rychlosti} \quad (19)$$

Pro dosažení snížené rychlosti v počáteční a koncové poloze musí průtok rotátorem odpovídat požadované rychlosti  $\omega_1 = 0,05 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**Průtok pro minimální rychlost ramene**

$$Q_{\min} = V_g \cdot \frac{\omega_1}{\pi} = 0,513 \cdot \frac{0,05}{\pi} = 8,2 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 0,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

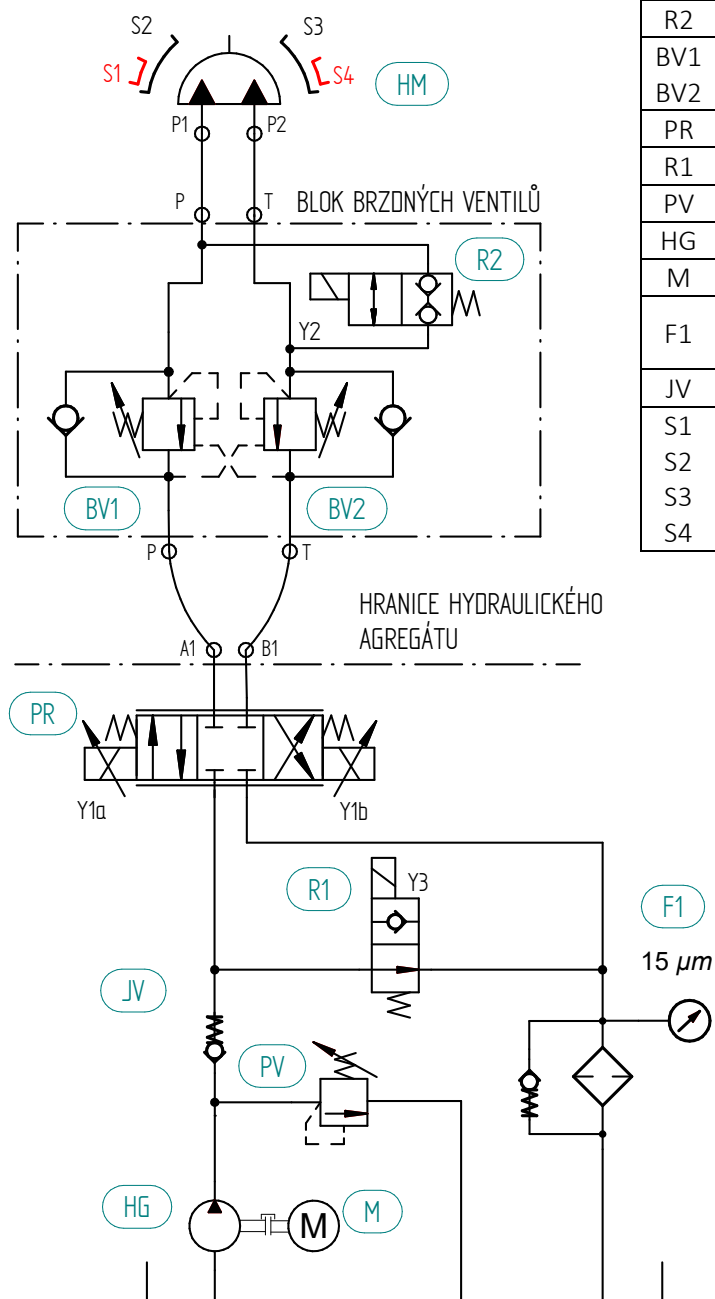
Pro dosažení maximální zvolené úhlové rychlosti rotátoru  $\omega_2 = 0,33 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$  jsem zvolil dle výpočtu hydrogenerátor s průtokem  $Q_G = 3,2 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ , kde minimální dosahovaný tlakový spád hydrogenerátoru musí být  $\Delta p_G = 19 \text{ MPa}$  s ohledem na zvolený tlak v hydraulickém obvodu nastavený pojišťovacím ventilem  $p_{PV} = 19 \text{ MPa}$ . Pro dosažení snížené rychlosti ramene musí být průtok rotátorem omezen na  $Q_G = 0,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ .

**Potřebný výkon elektromotoru pro dosažení zvolených parametrů. [1]**

$$P = \Delta p_G \cdot Q_{\max} = 19 \cdot 10^6 \cdot 0,538 \cdot 10^{-4} = 1022,2 \text{ W} = 1,1 \text{ kW} \quad (20)$$

### 3.5 Návrh hydraulického obvodu

Hydraulický obvod je navržen pro konkrétní aplikaci sloužící jako pohon manipulátoru pro přesun formy z desky vibračního stolu na odkládací plošinu (Obrázek 8, Příloha A). [1] [2]



HM	–	Hydromotor (rotátor)
R2	–	Sedlový rozváděč 2/2
BV1 BV2	–	Brzdňý ventil
PR	–	Proporcionální rozváděč
R1	–	Sedlový rozváděč 2/2
PV	–	Pojistný ventil
HG	–	Hydrogenerátor
M	–	Elektromotor
F1	–	Odpadní filtr s obtokem a indikací zanesení
JV	–	Jednosměrný ventil
S1 S2 S3 S4	-	Indukční snímače poloh natočení ramene manipulátoru

Obrázek 8 – Schéma hydraulického obvodu

Jako pracovní kapalinu jsem zvolil minerální olej třídy HM dle ISO 6743/4 s viskozitou VG 46. [4] S ohledem na použití proporcionálního rozváděče v navrženém obvodu a doporučení výrobce, volím minimální čistotu pracovní kapaliny třídy 9 dle NAS 1638. [17] Optimální teplota kapaliny musí být v rozsahu 20 až 55°C. Základní parametry navrženého hydraulického obvodu jsou vypsány v tabulce 2.

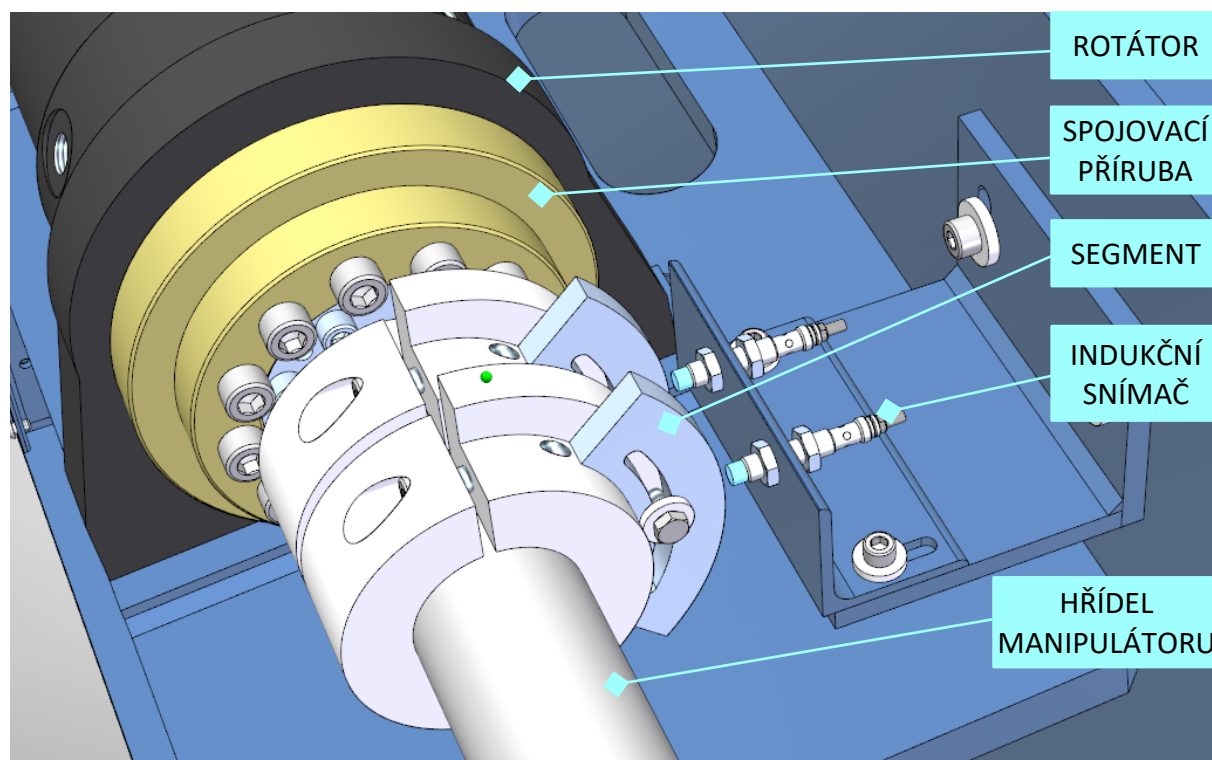
*Tabulka 2 – Základní parametry hydraulického obvodu*

výkon el. motoru	1,1	kW
silové napětí	3 x 400 V 50 Hz	
otáčky el. motoru	1450	min
pracovní tlak	19	MPa
max. průtok	3,2	dm <sup>3</sup> · min <sup>-1</sup>
ovládací napětí	24 V DC	
objem nádrže	8	dm <sup>3</sup>
filtrace oleje	15	μm

Zdrojem tlakové kapaliny je neregulační hydrogenerátor v zapojení s přepouštěcím rozváděčem R1 spínaným elektromagnetickou cívkou Y3. Tento rozváděč je v základní poloze otevřen a při zapnutí elektromotoru dochází k přepouštění kapaliny přes filtr do nádrže. Maximální tlak v obvodu je nastaven na hodnotu  $p_{PV} = 19$  MPa pojistným ventilem PV. Pro ochranu hydrogenerátoru před případnými tlakovými rázy z hydraulického obvodu je na výstupu z hydrogenerátoru zařazen jednosměrný ventil JV. Odpadní větev je vybavena nízkotlakým filtrem F1 s filtrační schopností 15 μm, obtokem a indikací zanesení. [2]

Dle zadání je vyžadována možnost snížit rychlost pohybu ramen manipulátoru z maximální rychlosti  $0,33 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$  v jeho koncových polohách na rychlost v rozsahu  $0,05 \div 0,12 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ . Pohyb ramen sníženou rychlostí má probíhat v rozsahu  $10^\circ \div 15^\circ$  od počáteční nebo koncové polohy. Při dosažení koncové nebo počáteční polohy manipulátoru musí dojít k zastavení pohybu v daném směru. Koncové polohy musí být nastavitelné v rozsahu  $\pm (5^\circ \text{ až } 10^\circ)$ . Pro ovládání směru pohybu a regulaci rychlosti jsem zvolil čtyřcestný třípolohový proporcionální rozváděč s uzavřeným středem PR1. Toto řešení umožní ovládání směru pohybu, zastavení pohybu v koncových polohách S1 a S4 a zároveň umožní nastavení rychlosti pohybu ramene manipulátoru v požadovaných rozsazích pohybu S1 až S2 a S3 až S4. Koncové polohy a rozsahy pohybů pro řízení jsou bezdotykově detekovány pomocí čtyř indukčních senzorů. Ke každému indukčnímu senzoru náleží odpovídající segment umístěný na hřídeli přenášející rotaci

z pohonu na ramena manipulátoru. Rozsahy pohybů a koncové polohy ramen manipulátoru je možné nastavit natočením jednotlivých segmentů na hřídeli manipulátoru (Obrázek 9).



Obrázek 9 – Řešení indukčních snímačů a otočných segmentů

Maximální rychlost manipulátoru je dána maximálním dodávaným průtokem hydrogenerátoru  $Q_G = 3,2 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ , procházejícím přes proporcionální rozváděč PR1 při jeho maximálním otevření, tj. při maximálním napětí na cívkách rozváděče Y1a a Y1b, dle směru pohybu. Snížení rychlosti v koncových polohách je dosahováno škrcením na šoupátku proporcionálního rozváděče pomocí napětí na cívkách Y1a a Y1b. Rychlost pohybu rotátoru bude možno nastavit na potřebnou hodnotu ovládacím prvkem umístěným na elektroinstalačním rozvaděči. Zastavení pohybu bude dosahováno uzavřením proporcionálního rozváděče ve střední poloze a otevřením přepouštěcího ventilu R1 odpojením cívky Y3.

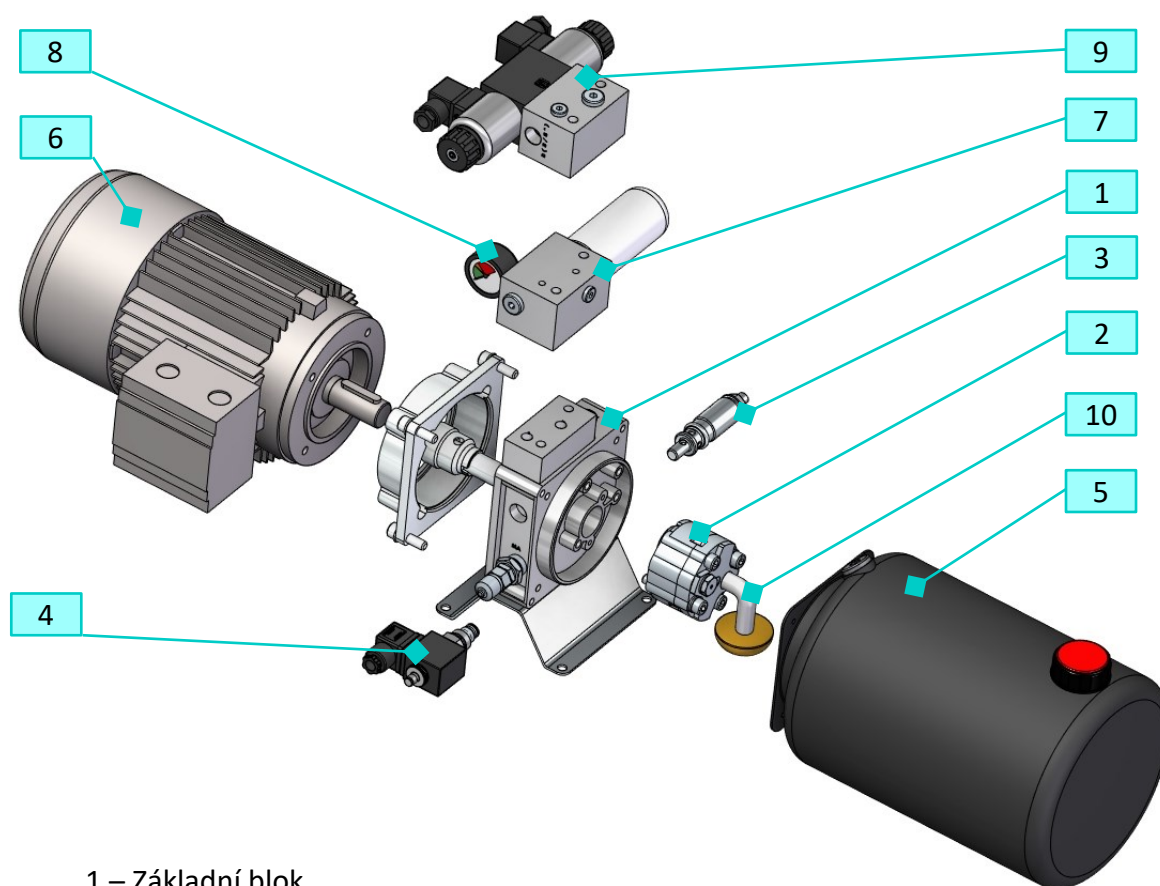
Z důvodu zamezení rozběhu hydraulického pohonu při spouštění zátěže je obvod vybaven brzdými ventily BV1 a BV2. Brzdné ventily budou primárně zabezpečovat regulaci pohybu manipulátoru při spouštění zátěže, kdy hrozí ztráta kontroly pohybu vlivem negativně působící zátěžné síly ve směru pohybu. [2][6] Další funkcí brzdých ventilů je zamezení pohybu

manipulátoru vlivem možných průsaků přes šoupátko proporcionálního rozváděče a ochrana proti pádu břemene v důsledku prasklého potrubí.

Na vstupu do rotátoru je zapojen dvoucestný dvoupolohový sedlový rozváděč R2 spínaný cívkou Y2, umožňující propojení vstupních větví A a B do rotátoru. Tento rozváděč je při práci manipulátoru v poloze uzavřen a může být sepnut pouze při zastavení pohybu rotátoru. Toto zapojení umožní, v případě potřeby, uvolnění ramene rotátoru. Tato funkce umožní uvolnění ramen manipulátoru při seřizování a údržbě, nebo v případě potřeby umožní dosednutí formy vlivem vlastní hmotnosti na desku vibračního stolu, nebo odkládací plošinu. Brzdné ventily BV1 a BV2 jsou společně s rozváděčem R2 umístěny v samostatném bloku.

### 3.5.1 Sestava hydraulického agregátu

Hydraulický agregát je sestaven z prvků pro konfiguraci kompaktních agregátů. Parametry dodaného hydraulického agregátu odpovídají navrženému hydraulickému obvodu (Tabulka 2). Kompletní sestava hydraulického agregátu byla dodána v sestaveném a odzkoušeném stavu firmou Hydrocom s.r.o. (Obrázek 10).

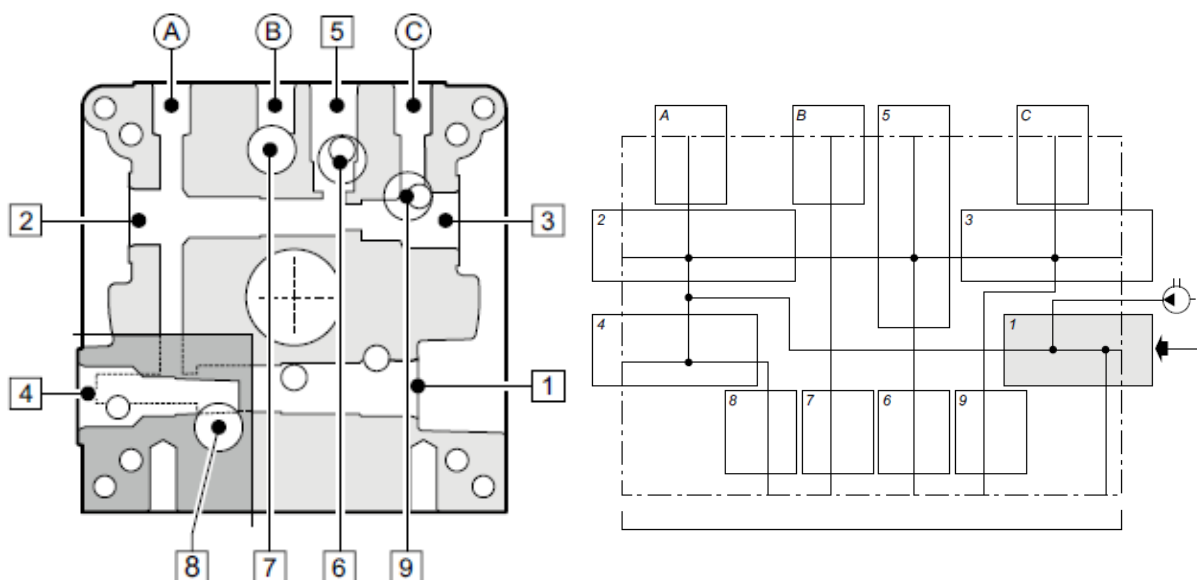


- 1 – Základní blok
- 2 – Hydrogenerátor (HG)
- 3 – Pojistný ventil (PV)
- 4 – Sedlový rozváděč 2/2 (R1)
- 5 – Ocelová nádrž
- 6 – Elektromotor (M)
- 7 – Blok s odpadním filtrem (F1)
- 8 – Indikátor zanesení filtru
- 9 – Proporcionální rozváděč (PR1)
- 10 – Sací filtr

Obrázek 10 - Hydraulický agregát rozklad

## Základní blok

Základní blok FPC1 kód: 780130014.00 (Obrázek 10, POZ 1) umožňuje připojení hydrogenerátoru, nádrže a základních hydraulických ventilů do připravených komor. Tento systém umožňuje vytvoření zapojení dle propojovacího obrazce (Obrázek 11). Tento blok obsahuje tři výstupy A, B, C, s vnitřními závity G 1/4, pět obvodových komor č. 1 až 5 rozměru 3/4" 16 UNF a čtyři zpětné propoje č. 6 až 9 se závity G 3/8. [10]



Obrázek 11 Základní blok FPC1 [10]

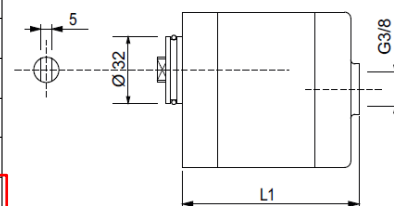
## Hydrogenerátor

Zdrojem tlakové kapaliny je zubový hydrogenerátor P1122, kód: 17050007.018 s geometrickým objemem  $V_{gHG} = 2,2 \text{ cm}^3$  s provozním tlakem 250 bar (Obrázek 10, POZ 2). Dodávaný průtok hydrogenerátoru je  $Q_G = 3,2 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ , viz vztah (21). [10]

$$Q_G = V_{gHG} \cdot n = 2,2 \cdot 1450 = 3190 \text{ cm}^3 = 3,2 \text{ dm}^3 \cdot \text{min} \quad (21)$$

$n = 1450 \text{ min}^{-1}$  — otáčky elektromotoru

**	Nominal displacement	Tolerance on geometric displacement	P2 bar	P3 bar	Code complete kit	L1 mm
07	0.80 cc	0.69 ÷ 0.82	170	210	17050107.018	72.4
10	1.00 cc	0.96 ÷ 1.09	170	210	17050088.018	73.5
12	1.20 cc	1.10 ÷ 1.30	250	290	17050005.018	74.8
17	1.70 cc	1.50 ÷ 1.70	250	290	17050006.018	76.2
22	2.20 cc	2.10 ÷ 2.30	250	290	17050007.018	78.2
26	2.60 cc	2.50 ÷ 2.70	250	290	17050008.018	79.7
32	3.20 cc	3.10 ÷ 3.32	250	290	17050009.018	82.0



Obrázek 12 - Hydrogenerátor P1122 [10]



### Pojistný ventil se zpětným ventilem

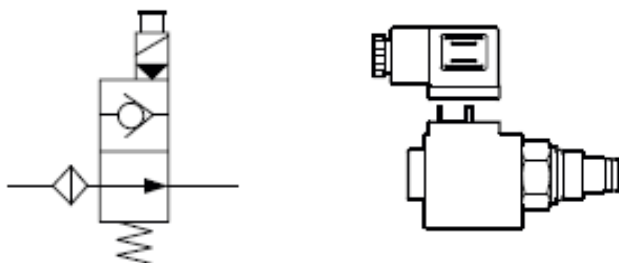
Tento ventil je umístěn do komory č.1 v základním bloku (Obrázek 11) kód: CMPRO4S03002, zároveň obsahuje jednosměrný ventil, který chrání hydrogenerátor před případnými tlakovými rázy z obvodu. Pojišťovací tlak je možno nastavit v rozsahu 160 až 290 bar. [10]



Obrázek 13 - Pojistný ventil se zpětným ventilem [10]

### Sedlový rozváděč 2/2

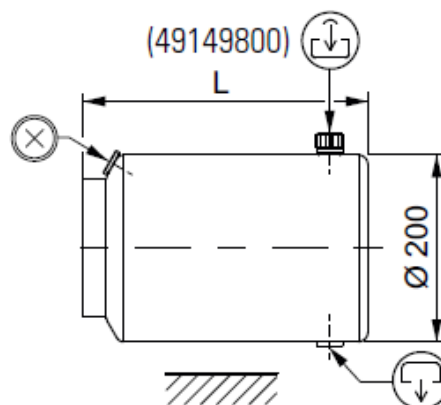
Tento rozváděč je umístěn v komoře č. 2 (Obrázek 11) a zabezpečuje přepouštění tlakové kapaliny do nádrže, pokud nedochází k pohybu ramen manipulátoru, jeho sepnutím dochází k uzavření volného průtoku a následnému generování tlaku v hydraulickém obvodu. Elektromagnetický sedlový rozváděč, nepřímo řízený v základní poloze otevřený, ovládací napětí 24 DC (Obrázek 14), kód: CRP0418NCAEM003 + V86050002. [10]



Obrázek 14 - Sedlový rozváděč [10]

### Ocelová nádrž

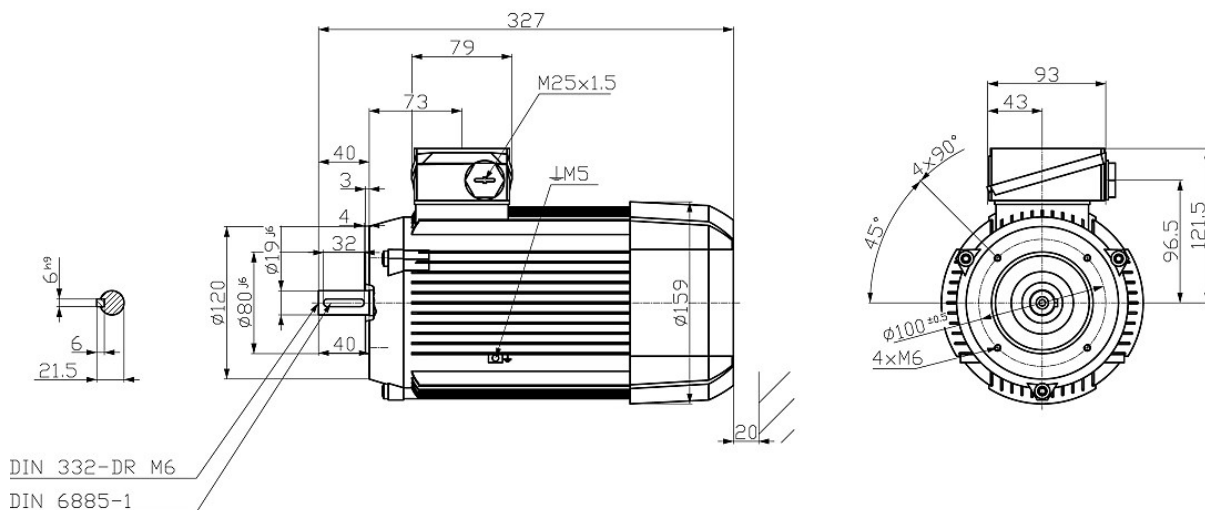
Ocelová nádrž má nominální objem 8 dm<sup>3</sup>, je namontována šrouby přímo na základní blok FPC. Nádrž je opatřena víčkem se sacím filtrem a vypouštěcím otvorem (Obrázek 15). Rozměr L = 301 mm. [10]



Obrázek 15 - Ocelová nádrž [10]

## Elektromotor

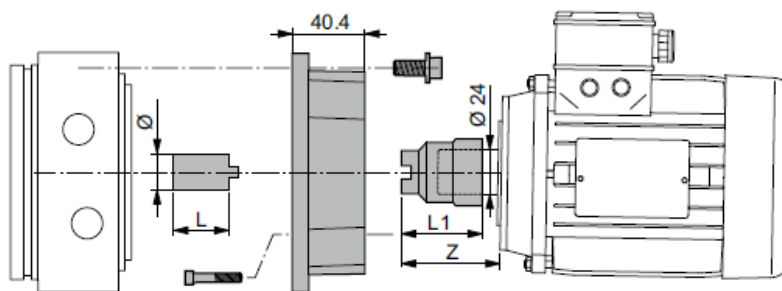
Jako pohon hydrogenerátoru je použit elektromotor typ: 1LE1001-0DB62 (Obrázek 16). Jedná se o třífázový, čtyř pólový elektromotor s kotvou na krátko, v provedení s přírubou B14 a zvýšenou účinností IE2. Otáčky elektromotoru  $n = 1450 \text{ min}^{-1}$ , výkon odpovídá hodnotě  $P = 1,1 \text{ kW}$  (viz kapitola 3.4.1, vztah 17). [16]



Obrázek 16 – Elektromotor 1LE1001-0DB62 [16]

## Spojovací sada pohonu hydrogenerátoru

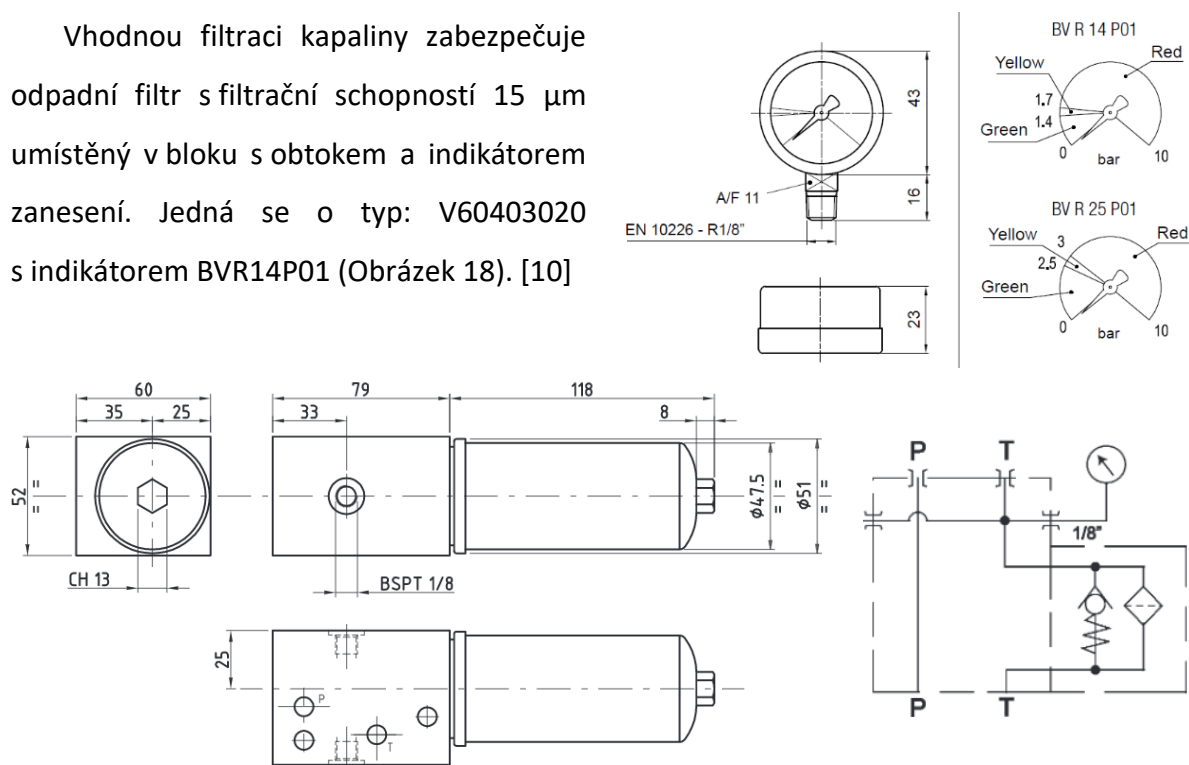
Sada je určena k propojení elektromotoru a přenos momentu na hydrogenerátor. Sada KIT08019.016 obsahuje propojovací přírubu a hřídelovou spojku včetně spojovacích součástí (Obrázek 17). [10]



Obrázek 17 - Spojovací sada pohonu hydrogenerátoru [10]

## Blok s odpadním filtrem

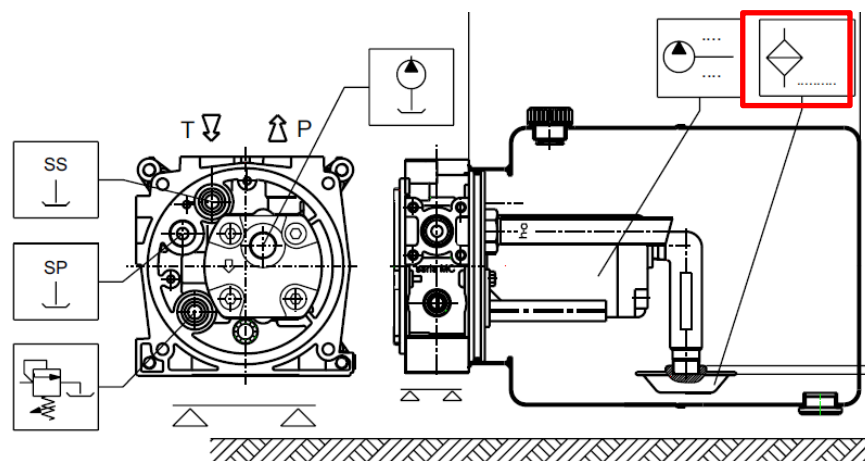
Vhodnou filtraci kapaliny zabezpečuje odpadní filtr s filtrační schopností 15  $\mu\text{m}$  umístěný v bloku s obtokem a indikátorem zanesení. Jedná se o typ: V60403020 s indikátorem BVR14P01 (Obrázek 18). [10]



Obrázek 18 - Blok s odpadním filtrem a indikátorem zanesení [10]

## Sada sacího filtru a sacího potrubí

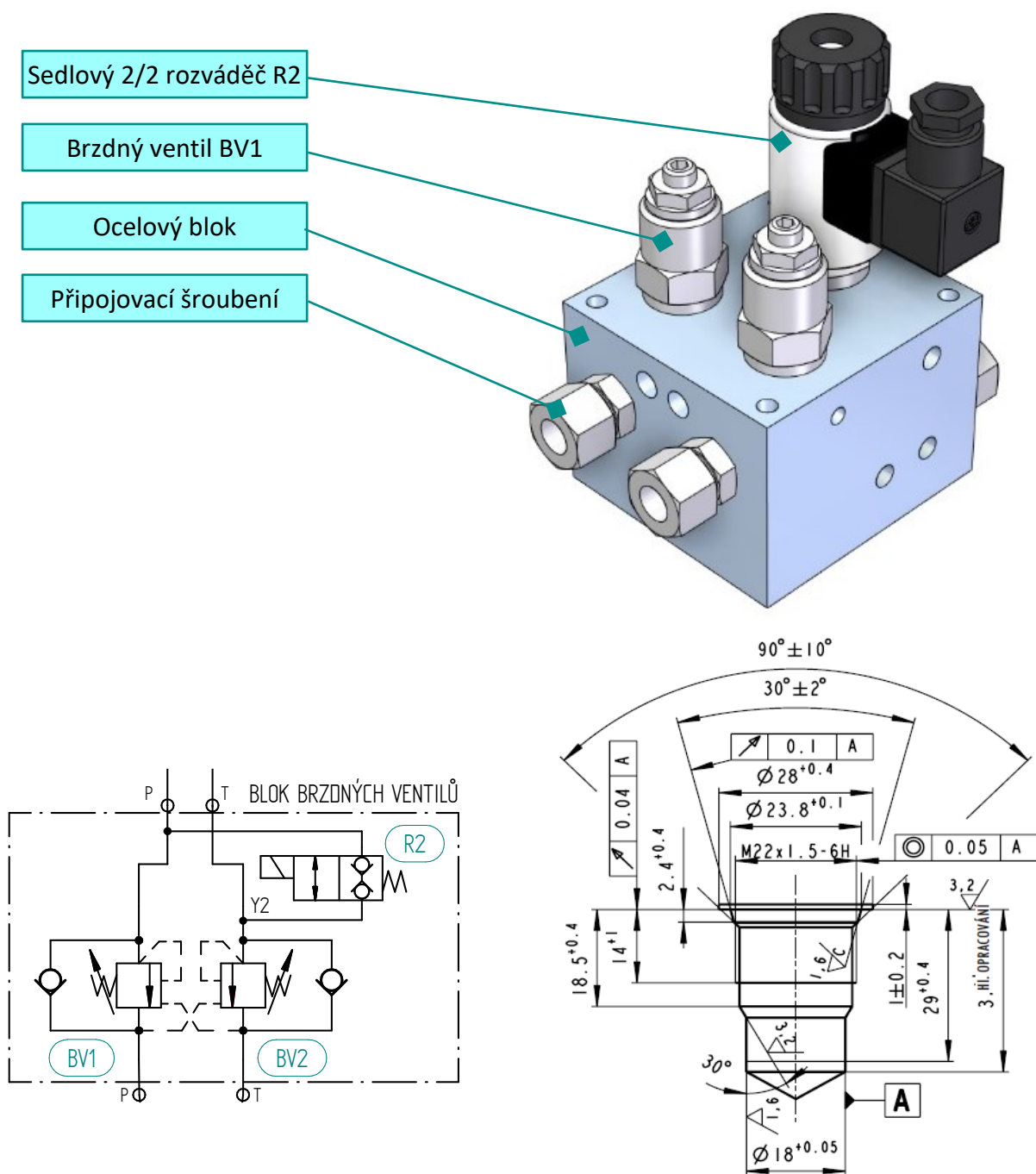
Pro zamezení nasátí nečistot z nádrže je před hydrogenerátor zařazena sada sacího filtru pro horizontální nádrž typ: 91003099.000. [10]



Obrázek 19 - Sada sacího filtru pro horizontální nádrž [10]

### 3.6 Blok brzdných ventilů

S ohledem na správnou funkci brzdných ventilů BV1 a BV2 a sedlového rozváděče R2 jsem použil vestavné provedení těchto prvků a jejich umístění do samostatného řídicího bloku. Tímto řešením je umožněno umístit blok co nejblíže ke vstupům rotátoru. Blok je vyroben z ocelové kostky, ve které jsou vrtány komory pro uložení vestavných ventilů. Tyto komory jsou propojeny vrtanými kanálky, které odpovídají schématu zapojení (Obrázek 20). Pro připojení do hydraulického obvodu je blok vybaven přípojovacími šroubeními.



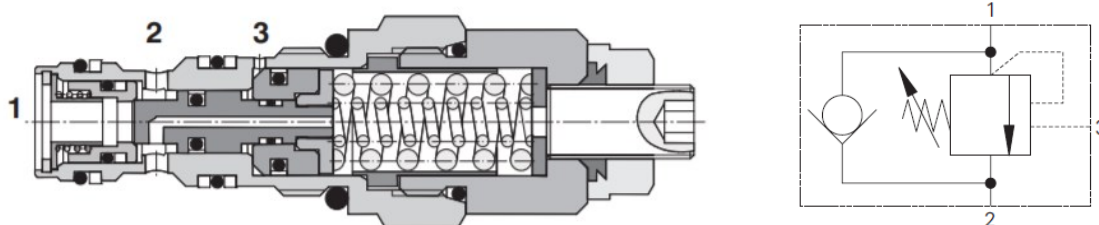
Obrázek 20 – Řídicí blok, schéma zapojení, příklad komory [14]

### 3.6.1 Brzdné ventily

#### Brzdné ventily v navrženém obvodu zabezpečují:

- bezpečnou manipulaci s formou při spouštění zátěže, kdy vlivem negativně působící zátěžné síly ve směru pohybu hrozí ztráta kontroly pohybu,
- uzamknutí průtoku, pokud šoupátko proporcionálního rozváděče PR řídícího pohyb rotátoru je ve své výchozí poloze, nebo pokud je hydrogenerátor zastaven. [14]

V navrženém obvodu jsou použity brzdné ventily výrobce Argohyts SO5A-BP3 (Obrázek 21). Jedná se o tlakový přepouštěcí ventil s nastaveným otvácím tlakem na 1,3 násobek maximálního tlaku indukovaného zátěží. Ventil je otvírán pomocným pístkem, na jehož čelní plochu působí tlak kapaliny z přívodní větve spotřebiče 3. Dojde-li ke zrychlení pohybu, tlak v této větvi poklesne a ventil škrcením omezí odtok kapaliny ze spotřebiče ve směru 1→2, čímž se rychlost pohybu opět sníží. V opačném směru proudí kapalina ke spotřebiči obtokovým jednosměrným ventilem. Je-li ventil umístěn u spotřebiče, chrání břemeno proti pádu v případě prasklého potrubí. [14] Ventil je dodáván s různými pilotními poměry a s možností nastavení řídicího tlaku v širokém rozsahu (Tabulka 3).



Obrázek 21 – Vestavný brzdný ventil, schématická značka [14]

Tabulka 3 – Technické parametry brzdných ventilů SO5A-BP3 [14]

Připojovací závit / komora		7/8-14 UNF-2A / BP3		
Maximální průtok	l/min (GPM)	40 (10.6)		
Rozsah nastavení pojistovacího tlaku		21	32	42
Maximální tlak od zátěže	bar (PSI)	175 (2540)	265 (3840)	350 (5080)
Maximální pojistovací tlak	bar (PSI)	210 (3050)	320 (4640)	420 (6090)
Rozsah provozní teploty kapaliny (NBR)	°C (°F)	-30... +100 (-22... +212)		
Rozsah provozní teploty kapaliny (FPM)	°C (°F)	-20... +120 (-4... +248)		
Pilotní poměr		2.5:1	5:1	8:1
Vnitřní lekáž	ml/min	0,3 (5 kapek za min)		
Hmotnost	kg (lbs)	0,29 (0.64)		

S ohledem na kinematiku pohybu zátěže vyvolávající relativně konstantní průběh tlaků, jsem dle doporučení výrobce zvolil řídicí poměr  $Z = 5:1$ .

**Vysoký řídicí poměr** – dovoluje spouštět zátěž malým pilotním řídicím tlakem, dovoluje rychlejší činnost zařízení v kombinaci s úsporou energie. Je vhodný pro aplikace, kde kinematika pohybu zátěže vyvolává relativně konstantní tlaky. [14]

**Nízký řídicí poměr** – vyžaduje vysoký pilotní řídicí tlak nutný ke spouštění zátěže, ale dovoluje preciznější a hladší řízení pohybu. Je vhodný pro aplikace, kde tlak vyvolaný zátěží během práce zařízení je různý a může vyvolávat nestabilitu. [14]

Pojistná sekce ventilu musí být schopná plně zastavit průtok při spouštění zátěže, kdy maximální zatížení od zátěže vyvolává tlakový spád na rotátoru  $\Delta p_{RB} = 17,7$  MPa, viz kapitola 3.3.2 rovnice č. 15. Pro bezpečné udržení musí být nastavení tlaku  $p_t$  nejméně o 30 % vyšší, než je maximální tlak od zátěže  $\Delta p_{RB}$ . [14]

#### Nastavení tlaku pojistné sekce

$$p_t \geq 1,3 \Delta p_{RB} \quad (22)$$

$$p_t = 1,3 \cdot \Delta p_{RB} = 1,3 \cdot 17,7 = 23,1 \text{ MPa}$$

Minimální řídicí tlakový spád  $\Delta p_p$  potřebný k otevření ventilu a spouštění zátěže je dán řídicím poměrem  $Z$ , nastavením tlaku pojistné sekce  $p_t$  a tlakem vyvolaným od zátěže  $\Delta p_{RB}$ .

#### Minimální řídicí tlak

$$\Delta p_p = \frac{p_t - \Delta p_{RB}}{Z} = \frac{23,1 - 17,7}{5} = 1,1 \text{ MPa} \quad (23)$$

kde:

$Z = 5 : 1$	– řídicí poměr brzdného ventilu
$p_t = 23,1 \text{ MPa}$	– nastavení tlaku pojistné sekce
$\Delta p_{RB} = 17,7 \text{ MPa}$	– maximální tlakový spád vyvolaný zátěží

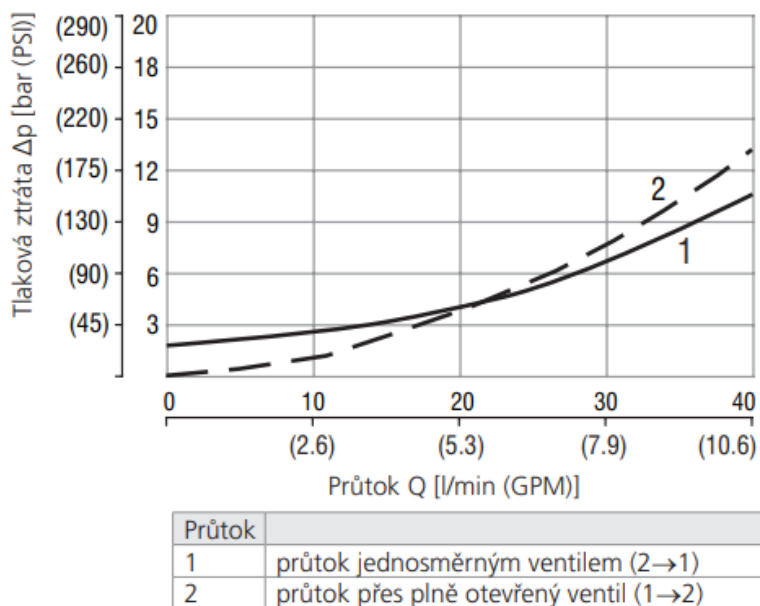
Tlaková ztráta na zvoleném brzdném ventilu ve směru průtoku přes jednosměrný ventil při maximálním dodávaném průtoku hydrogenerátoru  $Q = 3,2 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$  odpovídá hodnotě

odeštené z grafu 4. S touto tlakovou ztrátou bude dále uvažováno při volbě proporcionálního rozváděče.

$$\Delta p_{BV} = 2 \text{ bar} = 0,2 \text{ MPa}.$$

#### Tlakové ztráty v závislosti na průtoku

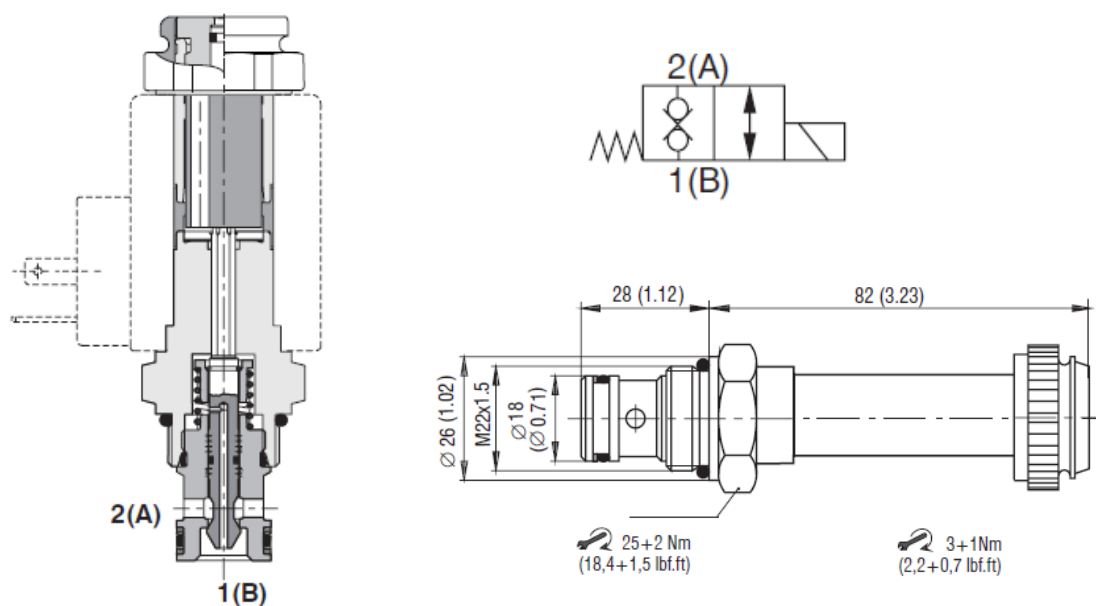
Pilotní poměr 2,5:1 a 5:1



Graf 4 – Tlaková ztráta brzdého ventilu v závislosti na průtoku [14]

### 3.6.2 Sedlový rozváděč

Sedlový rozváděč umožňuje sepnutím cívky Y2 propojení vstupů A a B hydromotoru a tím volnou rotaci ramen manipulátoru např. pro potřeby údržby, seřízení, nebo umožňuje dosednutí formy na vibrační stůl vlivem vlastní hmotnosti. V navrženém obvodu je použit vestavný 2/2, elektromagneticky ovládaný přímo řízený sedlový ventil s připojovacím závitem M22 x 1,5, výrobce Argohyfos ROE3-042S5 (Obrázek 22).



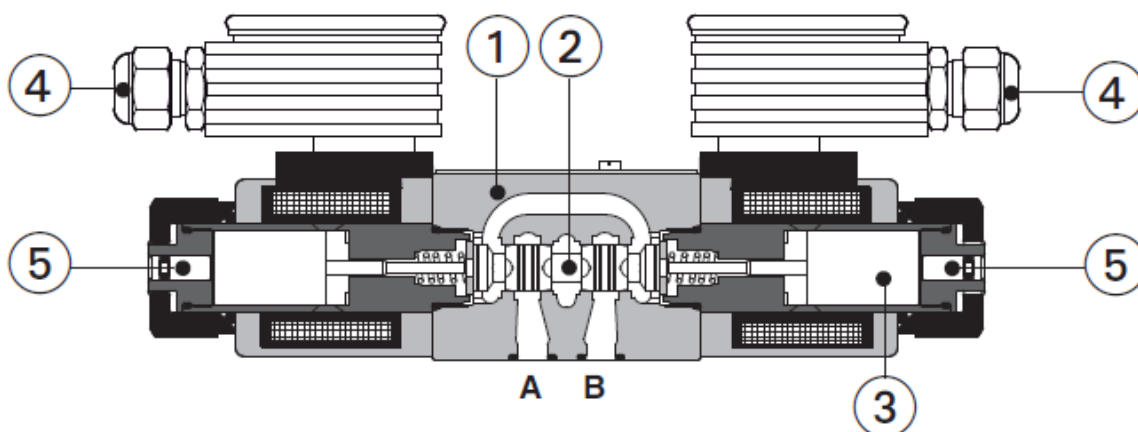
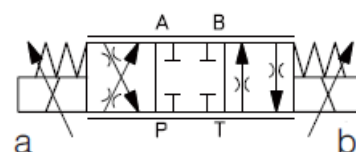
Obrázek 22 – Vestavný 2/2 rozváděč ROE3, schématická značka [15]



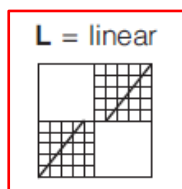
### 3.7 Volba proporcionálního rozváděče

Pro řízení směrů a rychlostí pohybů v požadovaných úvratích jsem v navrženém hydraulickém obvodu použil proporcionální rozváděč DHZE-A-071-L1. Jedná se o čtyřcestný třípolohový proporcionální rozváděč s uzavřeným středem a řídící elektronickou kartou (Obrázek 23). Regulační charakteristika závislosti průtoku na řídícím signálu vybraného typu rozváděče je pro vybraný typ šoupátka rozváděče L1 lineární. Zvolený typ rozváděče umožňuje připojení s montážní plochou dle normy ISO 4401 o světlosti Dn 06.

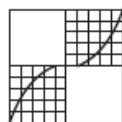
1. Tělo rozváděče
2. Proporcionální šoupátko
3. Proporcionální elektromagnet
4. Řídící elektronická karta
5. Ruční ovládání



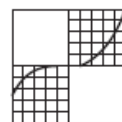
Regulační charakteristika v závislosti na typu šoupátka



**S = progressive**



**D = differential-progressive**



$P-A = Q, \quad B-T = Q/2$   
 $P-B = Q/2, \quad A-T = Q$

Obrázek 23 – Proporcionální rozváděč DHZE-A-071 [17]

Pro správnou a bezporuchovou funkci doporučuje výrobce zvoleného proporcionálního rozváděče pracovní kapalinu s minimální čistotou třídy 9 dle NAS 1638 a použití filtru s filtrační schopností 15 µm. K tomuto doporučení bylo přihlédnuto při volbě filtrační schopnosti filtru použitého v hydraulickém obvodu. S ohledem na funkci rozváděče v této konkrétní aplikaci, kdy není požadována vysoká přesnost rychlostí pohybů ramen, jsou hodnoty hystereze a opakovatelnosti dostatečné (Tabulka 4).

Tabulka 4 – Základní parametry rozváděče DHZE [17]

Typ rozváděče	DHZE			
Max. provozní tlak v kanálech [bar]	P, A, B = 320; T = 210			
Typ šoupátka	L14	L1	S3, L3, D3	S5, L5, D5
Nominální průtok [l/min]				
$\Delta p = 10$ bar (P-T)	1	4,5	18	28
$\Delta p = 30$ bar (P-T)	2	8	30	50
$\Delta p = 70$ bar (P-T)	3	12	45	70
Hystereze (pro maximální zdvih)	$\leq 5 \%$			
Opakovatelnost (pro maximální zdvih)	$\leq 1 \%$			
Čas přestavení	$< 30$ ms			

Pro dosažení požadovaných rychlostí jsem volil proporcionální rozváděč splňující vypočtené hodnoty průtoků. S ohledem na použití brzdých ventilů jsem uvažoval s tlakovým spádem na proporcionálním rozváděči  $\Delta p_{PR} = 1,1$  MPa dle vztahu (24).

#### Parametry pro volbu proporcionálního rozváděče

$$Q_{\max} = 3,2 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$Q_{\min} = 0,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$\Delta p_{PR} = \Delta p_G - \Delta p_{BV} - \Delta p_p - \Delta p_R - \Delta p_V \quad (24)$$

$$\Delta p_{PR} = 19 - 0,2 - 1,1 - 15,6 - 1 = 1,1 \text{ MPa} = 11 \text{ bar}$$

kde:

$$\Delta p_G = 19 \text{ MPa} \quad - \text{ maximální tlakový spád na hydrogenerátoru}$$

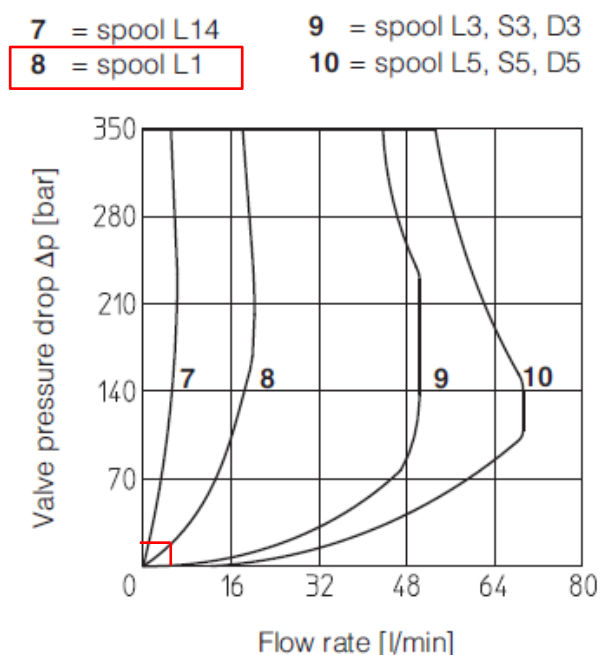
$$\Delta p_{BV} = 0,2 \text{ MPa} \quad - \text{ tlakový spád na brzdém ventilu}$$

$$\Delta p_p = 1,1 \text{ MPa} \quad - \text{ minimální řídicí tlak brzdného ventilu}$$

$$\Delta p_R = 15,6 \text{ MPa} \quad - \text{ takový spád na rotátoru pro dosažení točivého momentu}$$

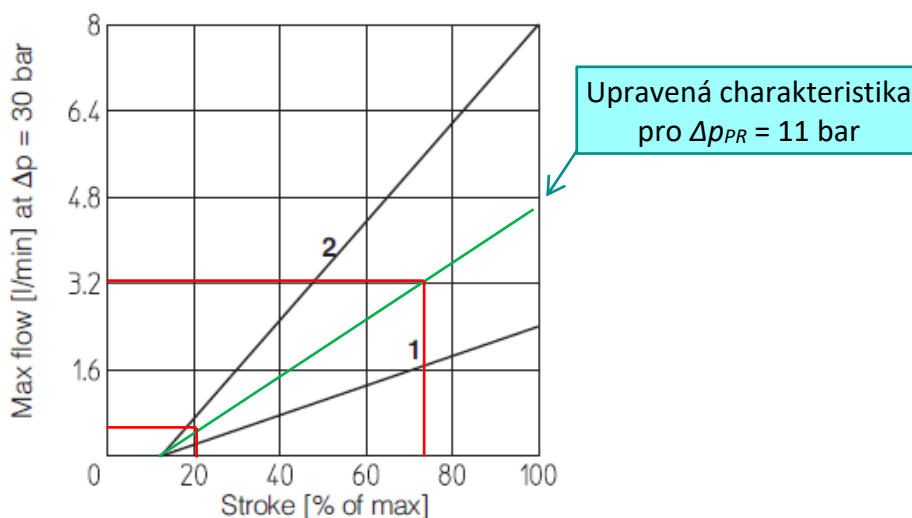
$$\Delta p_V = 1 \text{ MPa} \quad - \text{ odhadovaná tlaková ztráta způsobená vedením}$$

Dle výkonové charakteristiky zobrazené v grafu 5, při uvažovaném tlakovém spádu  $\Delta p_{PR} = 11$  bar, odpovídá nominální průtok hodnotě cca  $4,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ . Dle charakteristiky závislosti průtoku na řídicím signálu při uvažovaném tlakovém spádu na proporcionálním rozváděči je patrné, že regulační rozsah pro dosažení požadovaných průtoků je v rozsahu 20 % až 72 % řídicího signálu (Graf 6). Z grafu je patrné že se jedná o rozváděč s pozitivním překrytím šoupátka, kdy dochází k necitlivosti v rozsahu cca 0 až 15 % zdvihu šoupátka. Procentuální hodnota zdvihu šoupátka odpovídá procentuální hodnotě řídicího signálu.



Graf 5 – Výkonová charakteristika rozváděče [17]

- |                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| <b>1</b> = linear spool L14 | <b>3</b> = linear spool      |
| <b>2</b> = linear spool L1  | <b>4</b> = progressive spool |



Graf 6 – Závislost průtoku na řídicím signálu [17]

## 4 Konstrukční řešení manipulátoru

Konstrukční řešení manipulátoru vychází z navržené kinematiky pohybu ramene a zvoleného rotačního hydromotoru. Při návrhu musely být brány v úvahu zástavbové rozměry pro umístění do výrobní linky, zejména návaznost na vibrační stůl a zvedací plošinu. Polohy pro odběr a pokládání formy stejně jako trajektorie pohybu formy s přetočením formy o 180° vyžadovaly zabudování pohonu a pohybového mechanismu do omezeného prostoru mezi vibrační stůl a zvedací plošinu.

### 4.1 Technické parametry manipulátoru

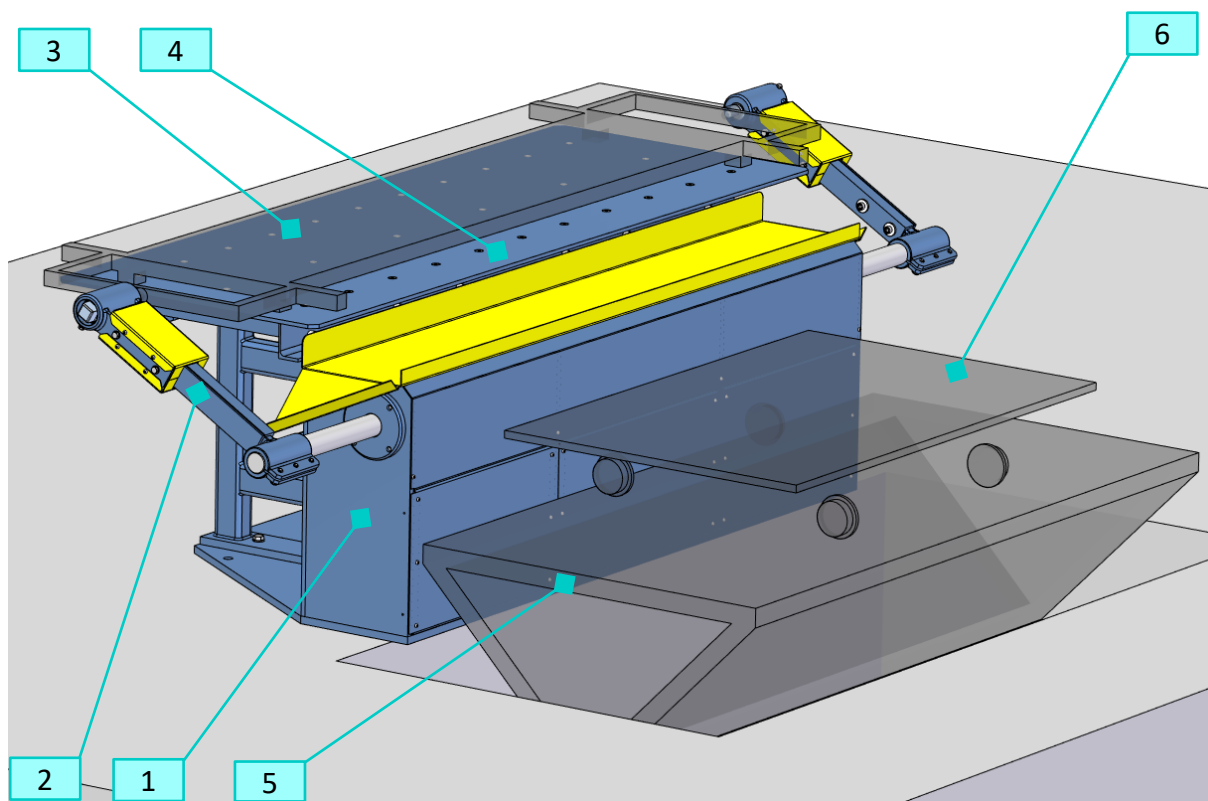
Manipulátor byl navržen jako jednoúčelové zařízení a je součástí linky na výrobu dílů betonových plotů. Součástí manipulátoru je vibrační stůl, který je umístěn na základové desce manipulátoru. Základní technické parametry zařízení jsou uvedeny v tabulce 5.

*Tabulka 5 - Technické parametry manipulátoru a vibračního stolu*

<b>Typ stroje výrobní číslo</b>	<b>Zařízení pro výrobu betonových dílů 181161</b>
Okolní podmínky pro provoz skladování	
Přípustná okolní teplota	(5 ÷ 45) °C
Max. vlhkost vzduchu	Max 70 %
Elektrické údaje	
Napájení	3NPE AC 50 Hz 400/230 V/TN-S
Příkon	~ 1,8 kW
Jištění přívodu	16 A
Ovládací napětí	1NPE AC 50 Hz 230 V/TN-S
Rozměry a hmotnosti	
Náročnost stroje na místo Stroj ... v x š x h	800 x 3200 x 950 mm
Hmotnost	1 400 kg
Maximální zatížení	
Nosnost hydraulického ramene	150 kg

## 4.2 Popis manipulátoru

Navržený manipulátor je koncipován jako sestava manipulátoru a vibračního stolu (Obrázek 24, Příloha B).

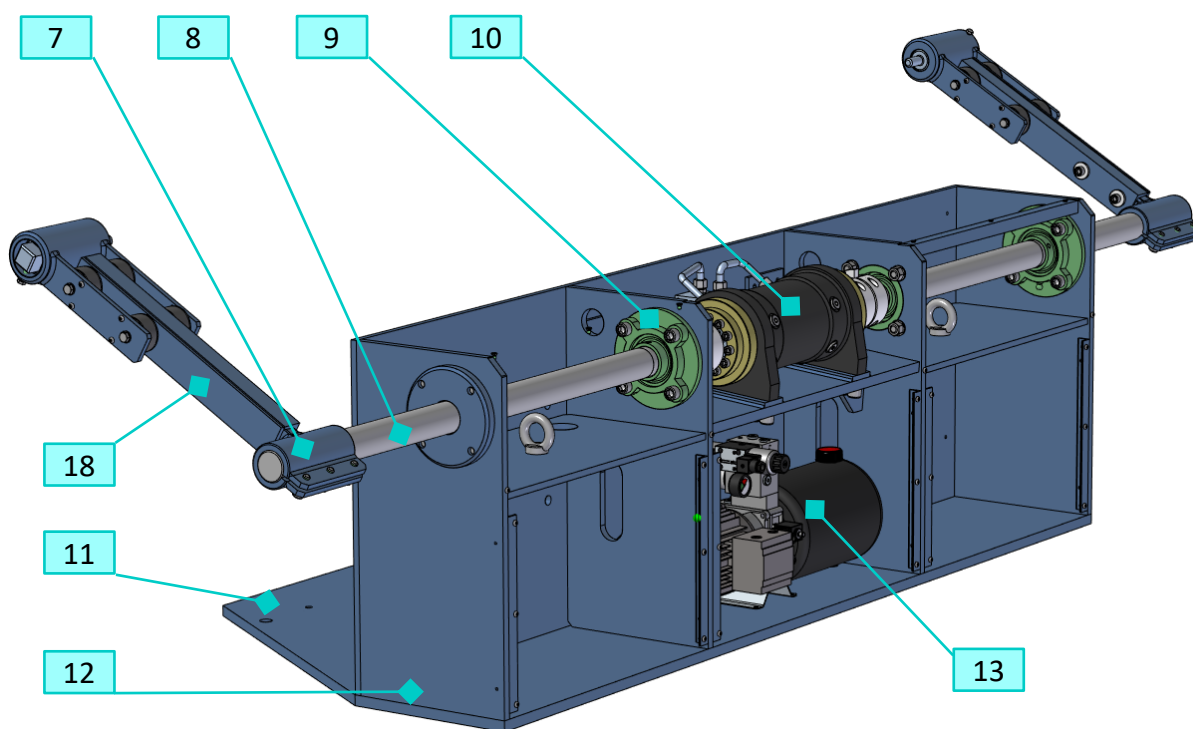


Obrázek 24 – Popis manipulátoru

- 1 – Rám manipulátoru
- 2 – Rameno manipulátoru
- 3 – Forma
- 4 – Deska vibračního stolu
- 5 – Zvedací plošina
- 6 – Převodník

Zvolený hydraulický rotátor umožňuje připojení pohybového mechanismu po obou stranách, což výrazně zjednodušilo řešení přenosu točivého momentu z pohonu na ramena manipulátoru a umožnilo zástavbu do omezeného prostoru mezi vibrační stůl a zvedací plošinu. Rotátor je umístěn uprostřed nosného rámu manipulátoru. Nosný rám manipulátoru je tvořen svařovanou konstrukcí z ocelových desek tloušťky 15 mm (Příloha C). Nosný rám také tvoří základnu pro konstrukci vibračního stolu. Nosný rám poskytuje oporu pro uložení dvou hřídelí, které přenášejí rotační pohyb z pohonu na ramena manipulátoru. Rotační uložení každé hřídele zabezpečují dvě přírubové ložiskové jednotky UCFC 211. Spojení hřídelí

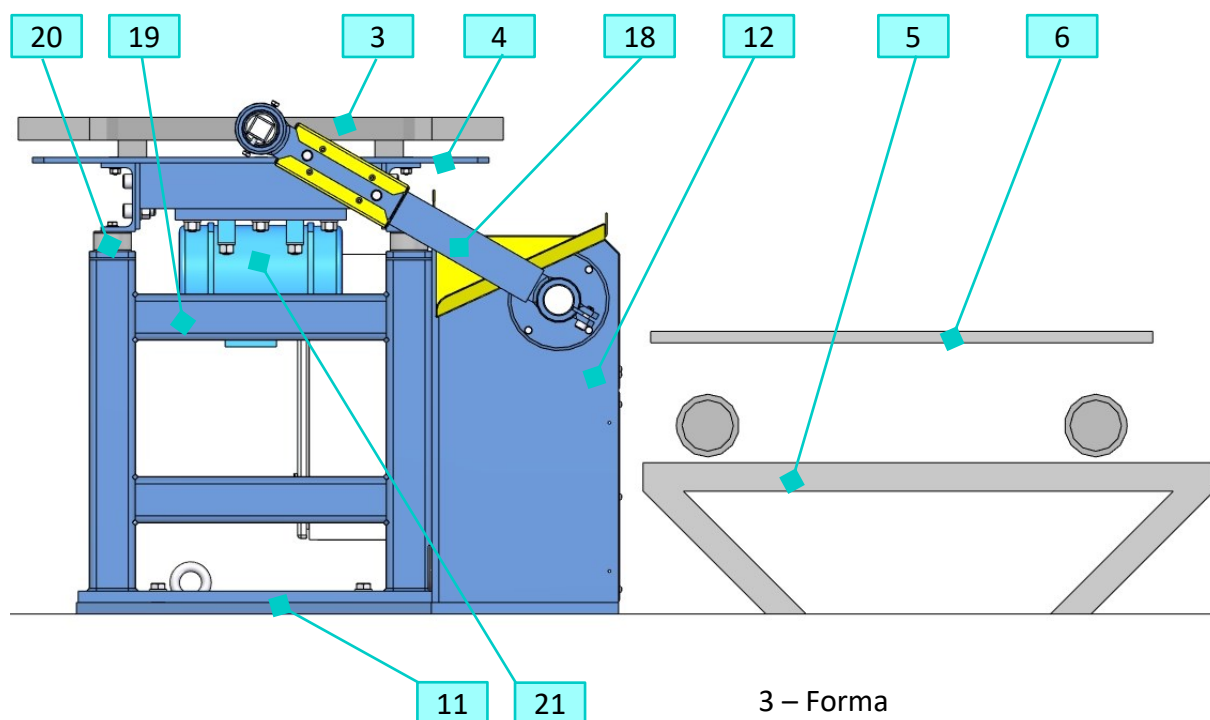
s pohonem je navrženo s využitím svěrných samostředících pouzder RCK 13 - 55x85 pro přenos točivého momentu. Propojení svěrných pouzder s rotátorem je realizováno pomocí vyrobených nábojů. Přenos točivého momentu na ramena manipulátoru je řešen vyrobenými svěrnými pouzdry. Hydraulický agregát je umístěn v prostoru pod hydraulickým rotátorem, což umožnilo minimální délku hydraulického vedení (Obrázek 25).



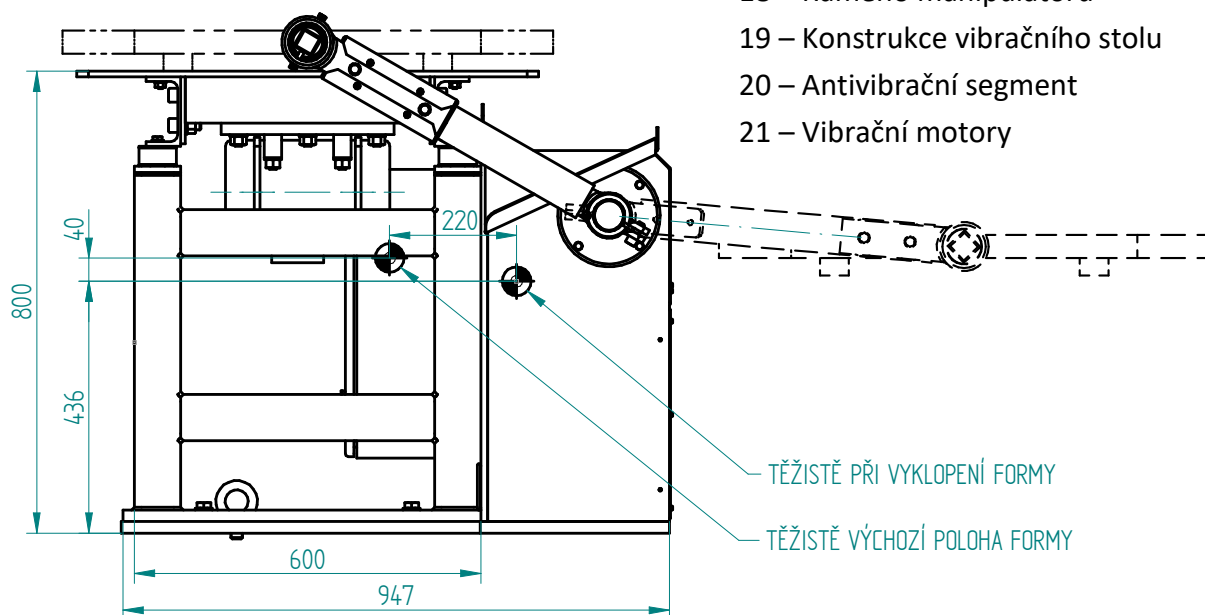
Obrázek 25 – Pohled na odkrytovaný manipulátor

- 7 – Svěrné pouzdro ramene
- 8 – Hřídel
- 9 – Ložisková jednotka UCFC 211
- 10 – Hydraulický rotátor BVC 115 180
- 11 – Základna pro vibrační stůl
- 12 – Konstrukce manipulátoru
- 13 – Hydraulický agregát
- 18 – Rameno manipulátoru

Vibrační stůl je umístěn a ukotven šrouby ke konstrukci manipulátoru. Toto řešení umožnilo minimalizovat rozměry manipulátoru a využít hmotnost vibračního stolu k posunu těžiště manipulátoru a tím k větší stabilitě (Obrázek 26).



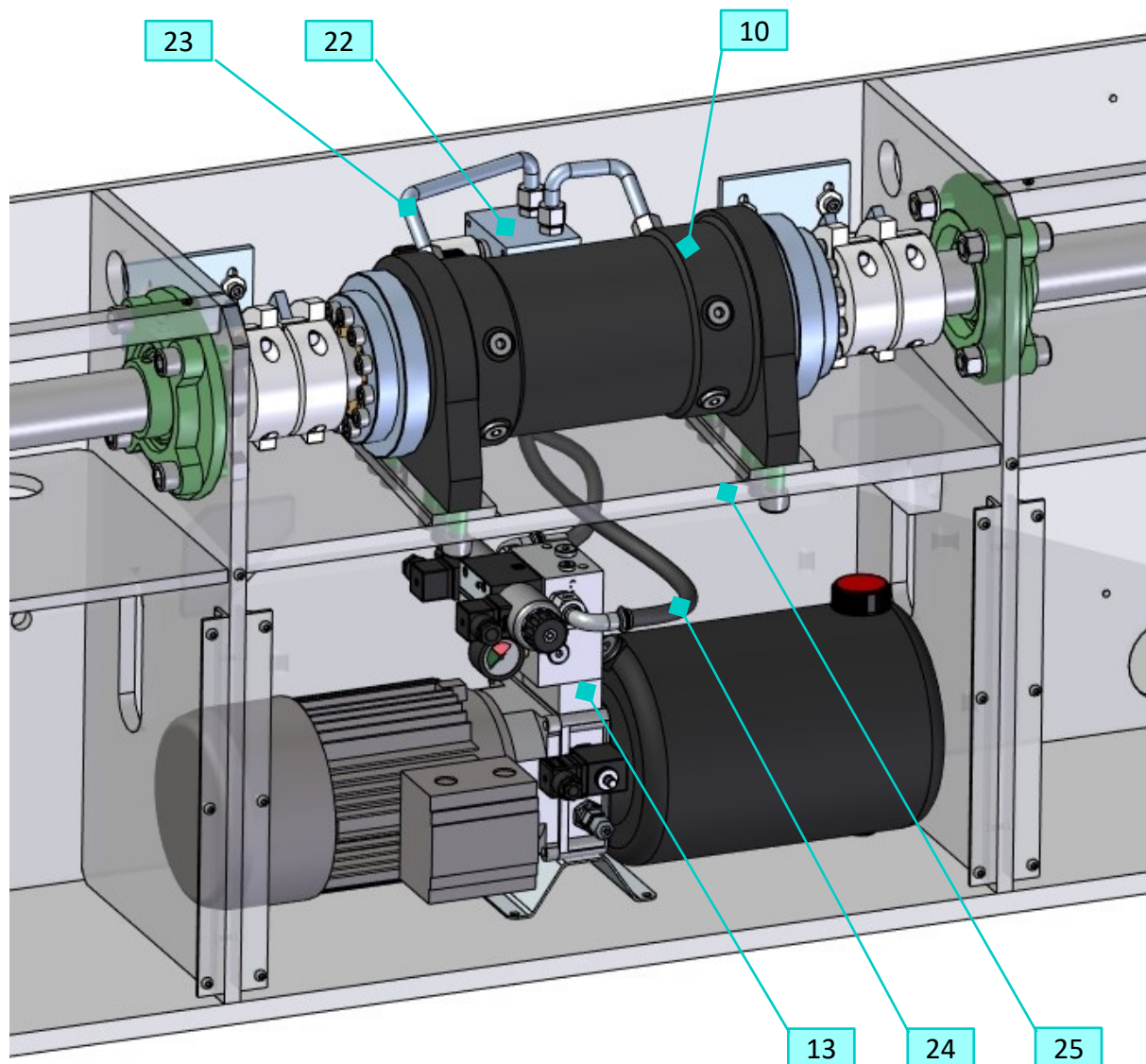
- 3 – Forma
- 4 – Deska vibračního stolu
- 5 – Zvedací plošina
- 6 – Přepravní vozík
- 11 – Základna pro vibrační stůl
- 12 – Konstrukce manipulátoru
- 18 – Rameno manipulátoru
- 19 – Konstrukce vibračního stolu
- 20 – Antivibrační segment
- 21 – Vibrační motory



Obrázek 26 – Sestava manipulátoru a vibračního stolu

### 4.3 Umístění pohonu manipulátoru

Hydraulický agregát je umístěn pod pohonem a ukotven k základní desce, která je součástí konstrukce manipulátoru. Propojení agregátu a rotátoru je realizováno hydraulickými hadicemi mezi výstupy z proporcionálního rozváděče a vstupy do bloku s brzdými ventily. Propojení mezi blokem a rotátorem je realizováno s využitím hydraulických trubek a spojovacího šroubení (Obrázek 27). Přístup k pohonu je možný jednoduchou demontáží ochranných krytů a tím umožňuje rychlou kontrolu stavu pohonu.



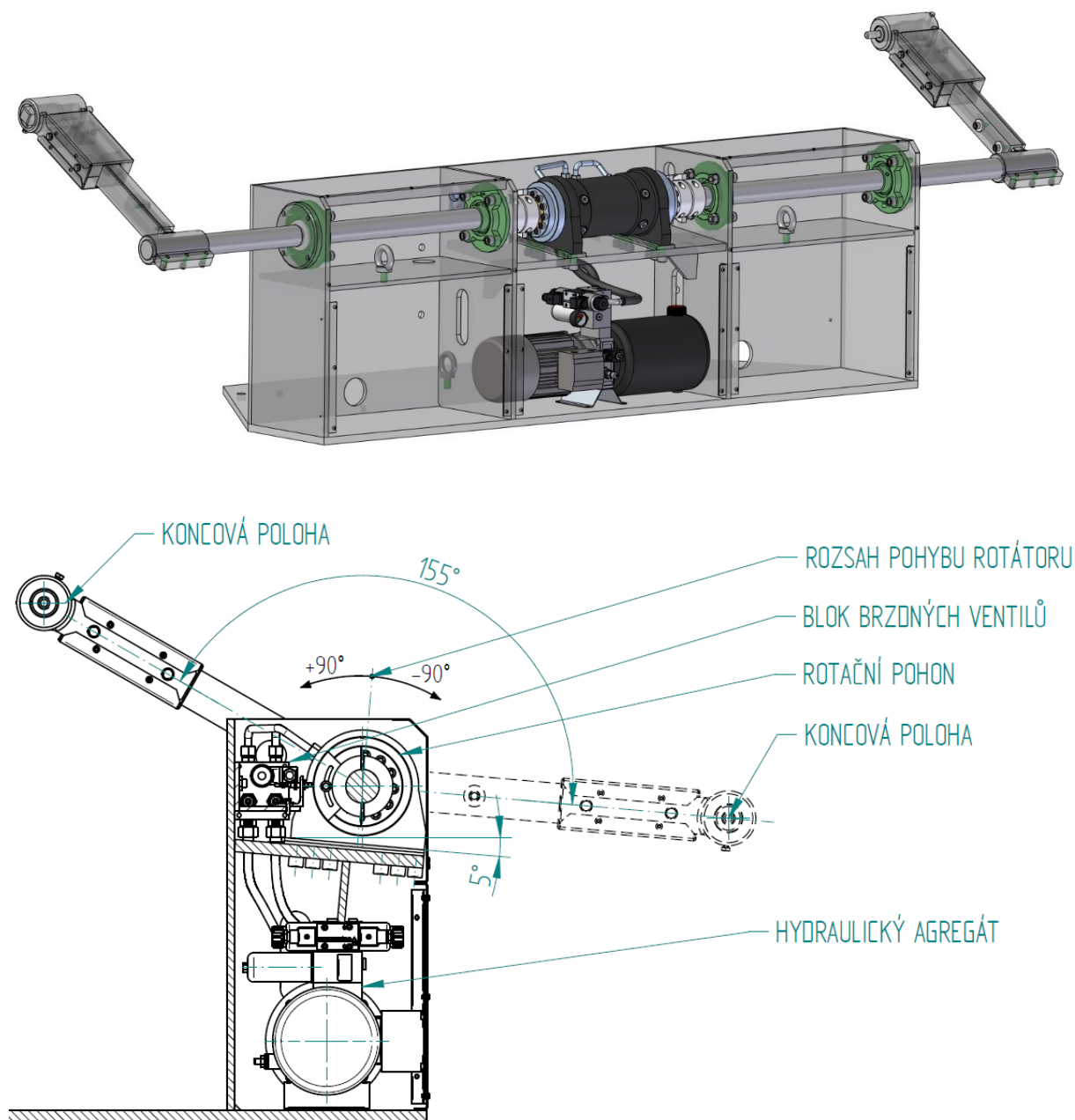
Obrázek 27 – Detail umístění pohonu manipulátoru

10 – Hydraulický rotátor  
13 – Hydraulický agregát  
22 – Blok brzdých ventilů

23 – Hydraulické trubkové vedení  
24 – Hydraulické hadice  
25 – Základní deska



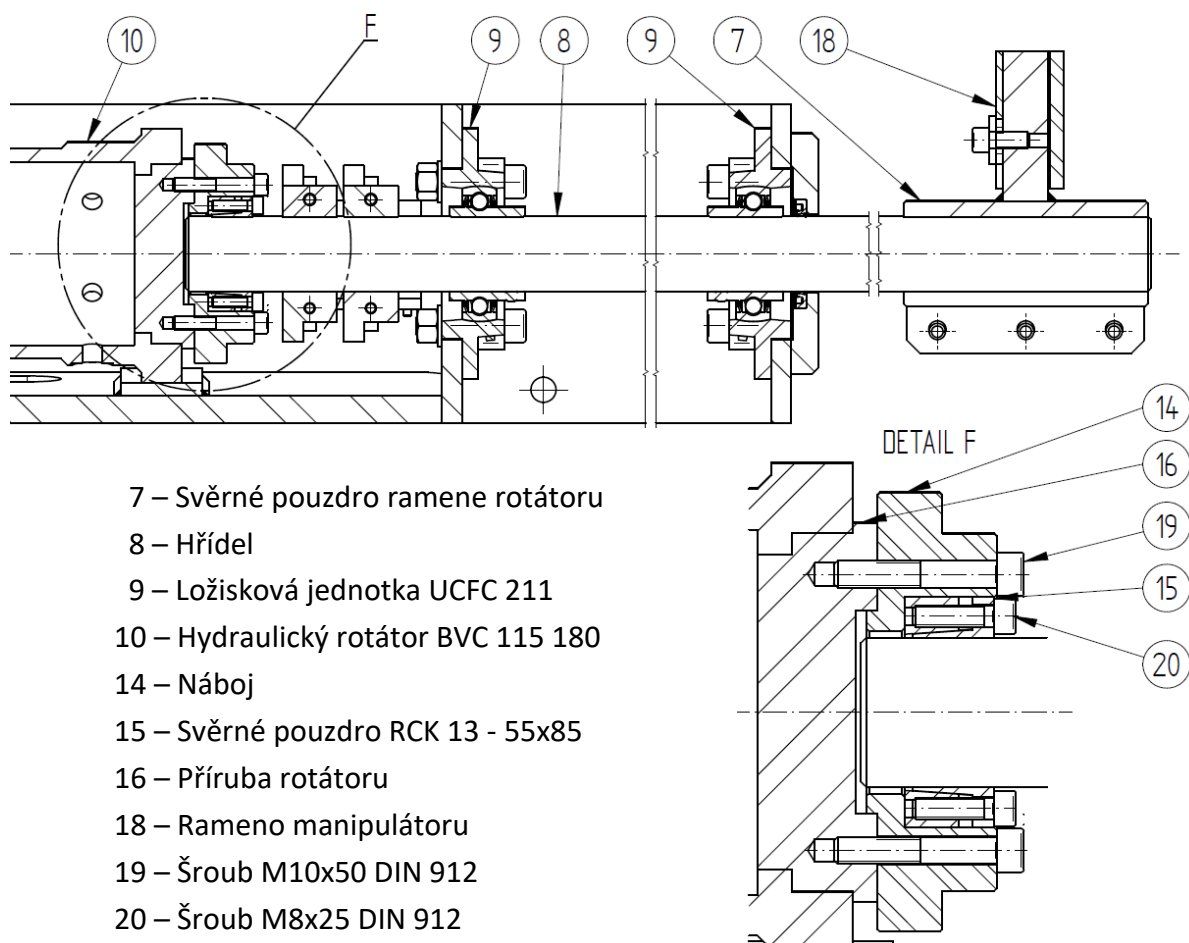
Hydraulický rotátor je umístěn ve středu konstrukce manipulátoru, kde je pomocí šroubů upevněn k základní desce, která je součástí konstrukce. S ohledem na rozsah pohybu ramen a rozsah pohybu rotátoru, kde rotátor umožňuje pohyb v rozmezí  $\pm 90^\circ$ , bylo nutné základovou desku vyklonit v úhlu  $5^\circ$ . Nakloněním základové desky bylo umožněno dosažení koncové polohy ramen manipulátoru při pokládání formy na odkládací plošinu (Obrázek 28).



Obrázek 28 – Umístění pohonu manipulátoru

#### 4.4 Mechanismus pro přenos točivého momentu

Pro přesun formy musí mechanismus (Obrázek 29) přenést točivý moment odpovídající maximálnímu momentu  $M_k = 1020 \text{ Nm}$  vypočtenému v kapitole 2.1. Točivý moment z hydraulického rotátoru na ramena manipulátoru je přenášen přes dvě hřídele o průměru  $D = 55 \text{ mm}$ . Hřídele jsou rotačně uloženy v přírubových ložiskových jednotkách UCFC 211 POZ 9, které jsou pomocí šroubů ukotveny ke konstrukci manipulátoru. Spojení mezi přírubami rotátoru a hřídelemi je řešeno samostředícími svěrnými pouzdry RCK 13 - 55x85 POZ 15. Pouzdra jsou vložena do vyrobených nábojů POZ 14, které jsou pomocí šroubů upevněny na příruby rotátoru POZ 16. Hřídele jsou vloženy do svěrných pouzder, které jsou složeny z dělených kroužků s kuželovými plochami. Utažením osmi pevnostních šroubů M8x25 DIN 912 T 12.9 na svěrných pouzdrech dochází k rozpínání kroužků mezi hřídelí a otvorem v náboji a tím k vytvoření svěrného spojení. Tento spoj umožňuje spojení bez vůle, přenos vysokých kroutících momentů a velmi jednoduchou montáž a demontáž. Spoj je dimenzován na přenos točivého momentu 3070 Nm, při předepsaném utahovacím momentu šroubů 35 Nm. [19]



Obrázek 29 – Uložení hřídele pravá polovina

#### 4.4.1 Kontrola hřídele

Hřídele manipulátoru jsou namáhány točivým momentem a zároveň ohybem. Pro kontrolu hřídele jsem použil maximální hodnoty točivého momentu rotátoru  $M_{\max} = 1100 \text{ Nm}$  při maximálním tlaku v hydraulickém obvodu  $p_{PV} = 19 \text{ MPa}$ , viz kapitola 3.3.2. Maximální síla působící na hřídel v místě ramene manipulátoru může odpovídat maximální hmotnosti přenášeného břemene. Pokud by došlo k přetížení manipulátoru odpovídala by maximální síla od břemene  $F_{\max} = 2117 \text{ N}$  viz vztah (26). Vzhledem k umístění rotátoru a použití dvou hřídelí, bude maximální přenášený moment  $M_{\max}$  a maximální zátěžová síla  $F_{\max}$  rozložena mezi obě hřídele. Potom bude každá hřídel zatěžována momentem  $M_{\max H}$  a silou  $F_{\max H}$ , viz vztahy (27) a (28).

$$M_{\max} = m_{\max} \cdot g \cdot \cos \varphi_0 \cdot R \quad (25)$$

$$F_{\max} = \frac{M_{\max}}{\cos \varphi_0 \cdot R} = \frac{1100}{\cos 30^\circ \cdot 0,6} = 2117 \text{ N} \quad (26)$$

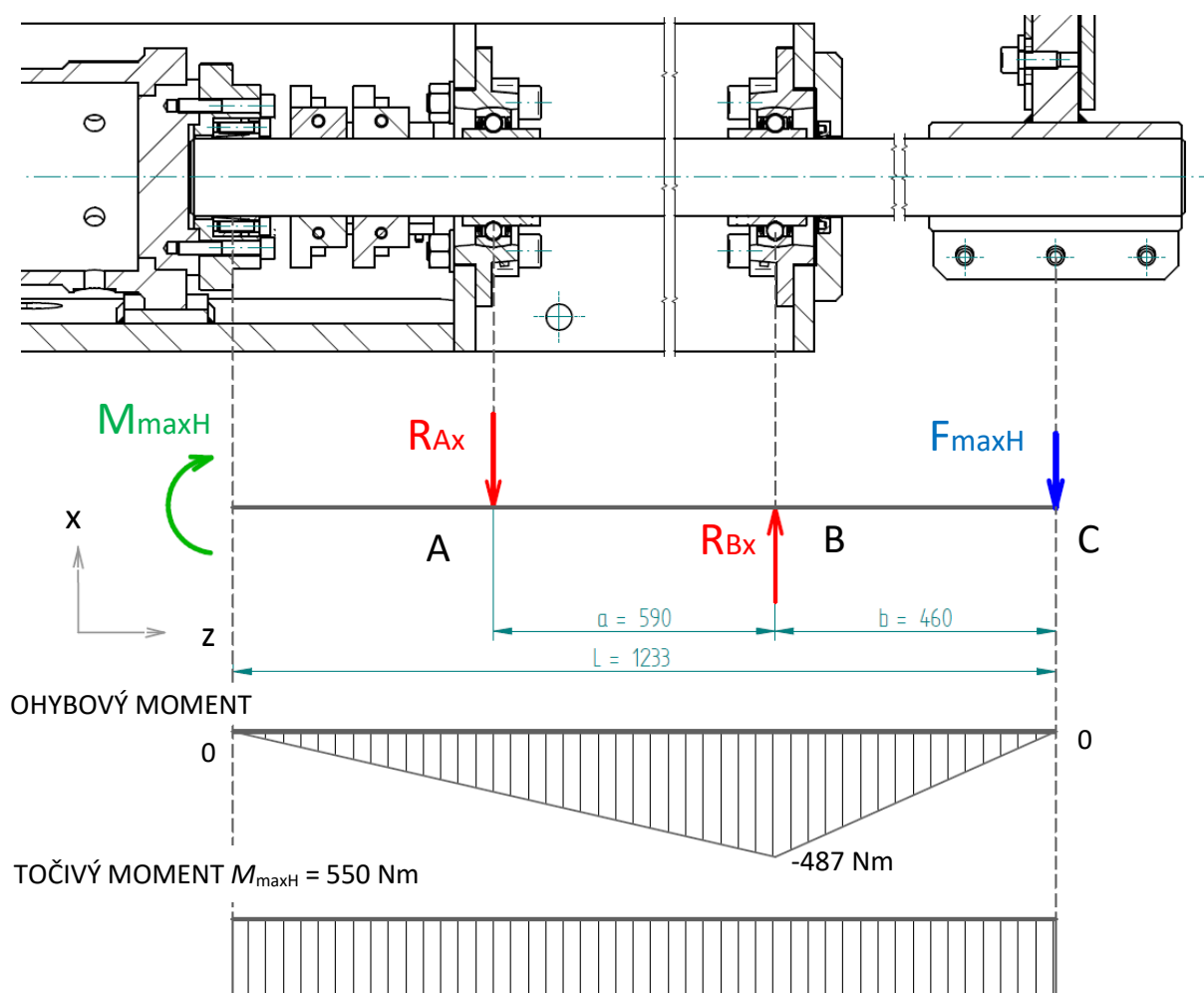
$$F_{\max H} = \frac{M_{\max}}{2} = \frac{2117}{2} = 1058 \text{ N} \quad (27)$$

$$M_{\max H} = \frac{M_{\max}}{2} = \frac{1100}{2} = 550 \text{ Nm} = 550 \cdot 10^3 \text{ Nmm} \quad (28)$$

Na hřídele manipulátoru jsou použity chromované pístní tyče vyrobené z oceli 42CrMo4 (podle ČSN ocel 15 143) v zušlechtěném stavu (Tabulka 6).

Tabulka 6 – Mechanické vlastnosti materiálu pístních tyčí [24]

Třída oceli	Mez pevnosti $R_m$	Mez kluzu $R_{p0,2}$	Průtažnost $A$	Svařitelnost
20MNV6 (v přírodním stavu)	600÷750 MPa	min. 390 MPa	min. 17%	výborná
CK45 (v přírodním stavu)	650÷830 MPa	min. 440 MPa	min. 15%	podmíněná
42CRMO4 (v zušlechtěném stavu)	900÷1200 MPa	min. 650 MPa	min. 11%	podmíněná
1.4057 AISI431 (zušlechtěná)	800÷950 MPa	min. 600 MPa	min. 12%	–



Obrázek 30 - Zatížení hřídele

**Výpočet reakcí v rovině x-z**

$$\sum F_x = 0$$

$$-R_{Ax} + R_{Bx} - F_{\max H} = 0 \quad (29)$$

$$\sum M_A = 0$$

$$R_{Bx} \cdot a - F_{\max H} \cdot (a + b) = 0 \quad (30)$$

$$R_{Bx} = \frac{F_{\max H} \cdot (a + b)}{a} = \frac{1058 \cdot (590 + 460)}{590} = 1882,88 \text{ N}$$

$$R_{Ax} = R_{Bx} - F_{\max H} = 1882,88 - 1058 = 824,88 \text{ N} \quad (31)$$

**Ohybový moment**

$$M_A^L = 0 \quad (32)$$

$$M_B^L = -R_{Ax} \cdot a = -824,88 \cdot 590 \doteq -486\,680 \text{ Nmm} = -487 \text{ Nm} \quad (33)$$

$$M_B^P = -F_{\max H} \cdot b = -1058 \cdot 460 = -486\,680 \text{ Nmm} = -487 \text{ Nm} \quad (34)$$

$$M_C^L = R_{Bx} \cdot b - R_{Ax} \cdot (a + b) \quad (35)$$

$$M_C^L = 1882,88 \cdot 460 - 824,88 \cdot (590 + 460) \doteq 0$$

Vzhledem k tomu že hřídel je namáhána na ohyb a krut jedná se o kombinované namáhání. Podmínku pevnosti je nutné řešit pomocí redukovaného namáhání dle příslušné hypotézy. [25]

### Ohybové napětí

$$\sigma_0 = \frac{M_B^L}{W_0} = \frac{486\,680}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{486\,680}{\frac{\pi \cdot 55^3}{32}} = 29,8 \text{ MPa} \quad (36)$$

$$W_0 = \frac{\pi \cdot D^3}{32} \quad \text{– modul průřezu v ohybu pro kruhový průřez [mm<sup>3</sup>]}$$

$$D = 55 \text{ mm} \quad \text{– průměr hřídele}$$

### Napětí v krutu

$$\tau_k = \frac{M_{\max H}}{W_k} = \frac{M_{\max H}}{\frac{\pi \cdot D^3}{16}} = \frac{550 \cdot 10^3}{\frac{\pi \cdot 55^3}{16}} = 16,9 \text{ MPa} \quad (37)$$

$$W_k = \frac{\pi \cdot D^3}{16} \quad \text{– modul průřezu v krutu pro kruhový průřez [mm<sup>3</sup>]}$$

### Redukované napětí dle hypotézy HMM [25]

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\sigma_0^2 + 3 \cdot \tau_k^2} = \sqrt{29,8^2 + 3 \cdot 16,9^2} = 41,8 \text{ MPa} \quad (38)$$

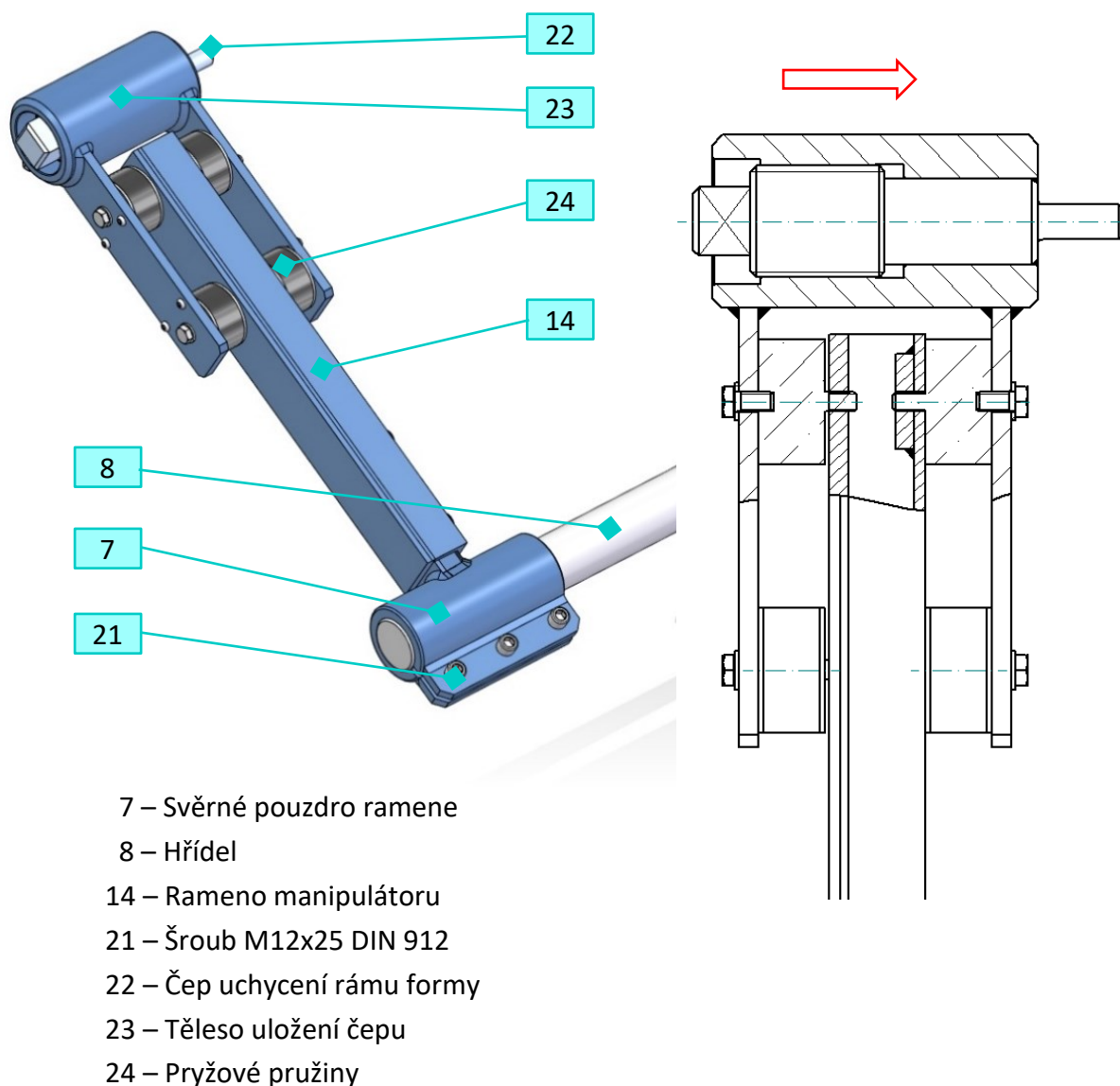
### Statická bezpečnost

$$k = \frac{Rp_{0,2}}{\sigma_{\text{red}}} = \frac{650}{41,8} = 15,5 \quad (39)$$

S ohledem na vypočtenou statickou bezpečnost zvolená hřídel vyhovuje. Koeficient bezpečnosti volím  $k = 2$ , jedná se o doporučený koeficient bezpečnosti pro tažné materiály, při znalosti zatížení, dovoleného napětí, vlastností materiálu a znalostí pracovního prostředí. [26]

## 4.5 Ramena manipulátoru

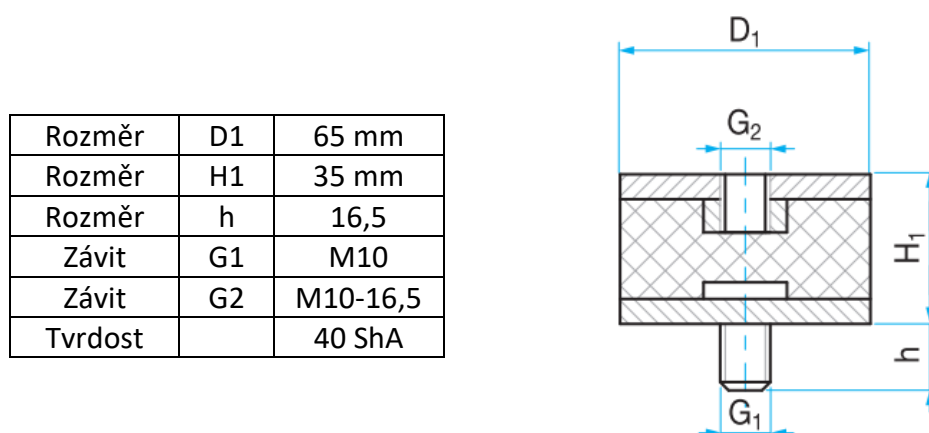
Ramena manipulátoru (Obrázek 31) zajišťují rotační upevnění formy pomocí čepů, mezi nimiž je umístěn rám formy. Závitový čep je uložen v tělese se závitovým otvorem. Otáčením čepu dochází k jeho vysouvání a tím k upnutí rámu formy mezi ramena manipulátoru. Čepy umožňují rotaci formy kolem své osy a zároveň zabezpečují pohyb formy po určené trajektorii z vibračního stolu na odkládací plošinu. Spojení hřídelí a ramen manipulátoru je řešeno vyrobenými svěrnými pouzdry. Svěrné spojení jednoho ramene je vytvořeno mezi hřídelí a jednostranně rozříznutým nábojem utažením tří šroubů M12 DIN 912 8.8.



Obrázek 31 – Rameno manipulátoru

S ohledem na možný přenos vibrací z desky vibračního stolu při zhutňování směsi jsou ramena konstruována s využitím antivibračních pryžových pružin, které mají za úkol tlumit

přenos vibrací z formy dále do konstrukce manipulátoru. Pro tento účel jsou použity čtyři pryžové pružiny Rubena 65/35 TYP2/M10x16,6 kód 040757, které byly vybrány na základě zkušeností a doporučení zákazníka (Obrázek 32). [20]



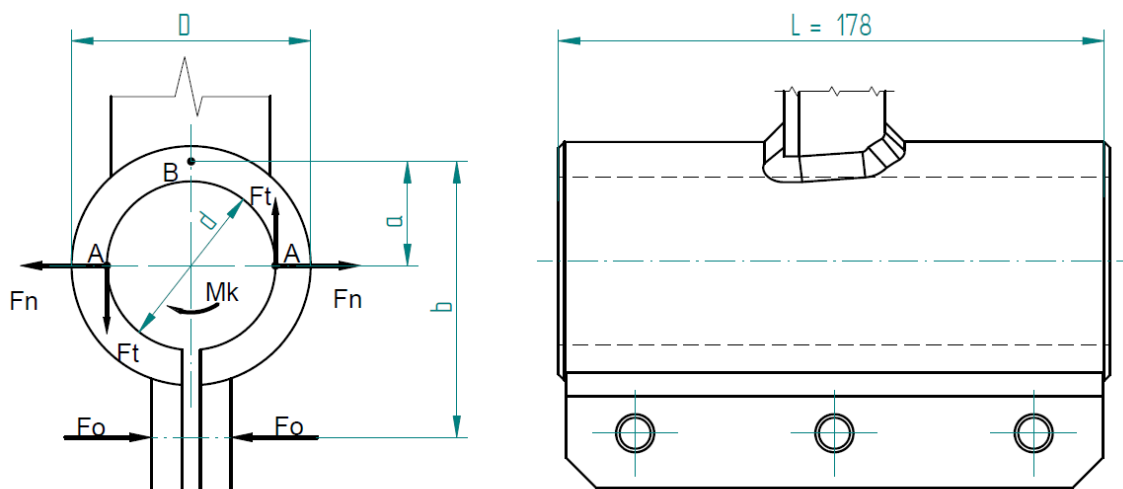
Obrázek 32 - Parametry pružiny [20]

#### 4.5.1 Výpočet parametrů pro návrh svěrného pouzdra

K zajištění bezpečnosti proti prokluzu při přenosu točivého momentu musí výsledný třecí moment  $M_T$  být větší než přenášený točivý moment  $M_k$ , viz vztah (40), kde  $n$  je bezpečnost. K dosažení potřebného třecího momentu  $M_T$  musí utažení šroubů vyvodit dostatečnou svěrnou sílu  $F_n$  a překonat odporovou sílu  $F_d$  v náboji proti pružné deformaci, viz vztah (41), kde  $i$  je počet šroubů a  $F_o$  je osová síla šroubu (Obrázek 33). Velikost síly  $F_d$  závisí na tuhosti náboje a velikosti jeho deformace, při zjednodušení lze uvažovat že  $F_d \doteq F_o$ . [8]

$$M_T > M_k \Rightarrow M_T = n \cdot M_k \quad (40)$$

$$F_n = i \cdot F_o + F_d \quad (41)$$



Obrázek 33 – Rozbor sil navrženého svěrného pouzdra

Při zjednodušení se předpokládá dotyk náboje s hřídelí ve dvou povrchových přímkách v bodech A (Obrázek 33). Výsledná síla připadající na jeden šroub bude odpovídat osově síle  $F_0$  vypočtené dle vztahu (42). [8]

$$F_0 = \frac{n \cdot M_{k1} \cdot a}{i \cdot b \cdot f \cdot d} \quad (42)$$

$$F_0 = \frac{1,2 \cdot 510 \cdot 0,03325}{3 \cdot 0,09 \cdot 0,1 \cdot 0,055} = 13\,703 \text{ N}$$

kde:

$$a = \frac{D + d}{4} = \frac{0,078 + 0,055}{4} = 0,03325 \text{ m}$$

$$f = 0,1 \div 0,2 \quad \text{— součinitel smykového tření ocel – ocel}$$

$$i = 3 \quad \text{— počet šroubů}$$

$$D = 78 \text{ mm}; d = 55 \text{ mm}; b = 90 \text{ mm}; \quad \text{— rozměry spojky (Obrázek 33)}$$

Maximální přenášený moment manipulátoru  $M_{B\max} = 1020 \text{ Nm}$  dle výpočtu kapitola 3.1, potom maximální přenášený moment připadající na jedno rameno manipulátoru bude:

$$M_{k1} = \frac{M_{b\max}}{2} = \frac{1020}{2} = 510 \text{ Nm} \quad \text{— přenášený moment na jednom rameni}$$

**Skutečná osová síla pro jeden šroub [8]**

$$F_0' = \frac{F_v}{i} = \frac{i \cdot F_0 + F_d}{i} = \frac{3 \cdot 13\,703 + 13\,730}{3} = 18\,270,6 \text{ N} \quad (43)$$

$$F_d \doteq F_0 = 13\,703 \text{ N} \quad \text{— deformační síla náboje}$$

**Výsledný utahovací moment jednoho šroubu [8]**

$$M_U = \frac{F_0' \cdot d_2}{2} \cdot \tan(\varphi + \gamma') \quad (44)$$

$$M_U = \frac{18\,270,6 \cdot 0,010863}{2} \cdot \tan(2,93 + 6,59) = 16,7 \text{ Nm}$$

kde:

$$\varphi = \arctg \frac{S}{\pi \cdot d_2} = \arctg \frac{1,75}{\pi \cdot 10,863} = 2,93^\circ \quad \text{— úhel stoupání šroubovice}$$

$$\gamma = \arctg \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \arctg \frac{0,1}{\cos \frac{60}{2}} = 6,59^\circ \quad \text{— redukovaný třecí úhel}$$

$$d_2 = 10,863 \text{ mm} \quad \text{— střední průměr závitu šroubu}$$

$$f_z = 0,1 \div 0,2 \quad \text{— součinitel smykového tření ocel – ocel}$$

$$\alpha = 60^\circ \quad \text{— úhel profilu metrického závitu}$$



$$S = 1,75 \text{ mm}$$

– rozteč závitů M12

Dle výpočtu jsem zvolil minimální utahovací moment šroubů M12 DIN 912 8.8 na hodnotu  $25 \text{ Nm} \pm 5 \text{ Nm}$ .

#### Kontrola navržené spojky z hlediska otláčení hřídele [8]

Kontrolu z hlediska otláčení jsem provedl na plochu  $d \cdot L$  průmětu navržené spojky na hřídel. Potom je dovolený třecí moment  $M_{T\text{dov}}$  pro dovolený měrný tlak materiálu spojky a hřídele  $p_D = 120 \text{ MPa}$ :

$$M_{T\text{dov}} = 2 \cdot \left( p_D \cdot d \cdot L \cdot \frac{d}{2} \cdot f \right) = p_D \cdot d^2 \cdot L \cdot f \quad (45)$$

$$M_{T\text{dov}} = 120 \cdot 10^6 \cdot 0,055^2 \cdot 0,178 \cdot 0,1 = 6\,461 \text{ Nm}$$

kde:

$$f = 0,1 \div 0,2$$

– součinitel smykového tření ocel – ocel

$$L = 178 \text{ mm}$$

– rozměry spojky (Obrázek 33)

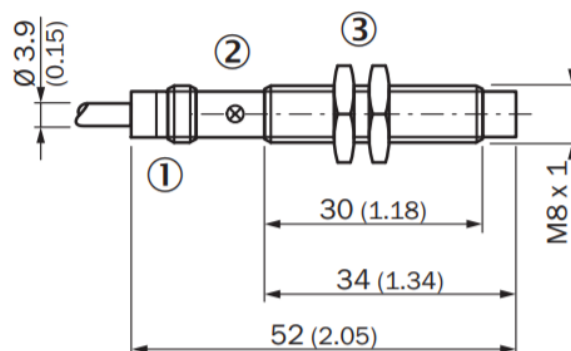
$$M_{T\text{dov}} \gg M_{k1} = 510 \text{ Nm} \quad \text{vyhovuje}$$

## 4.6 Snímání poloh ramene

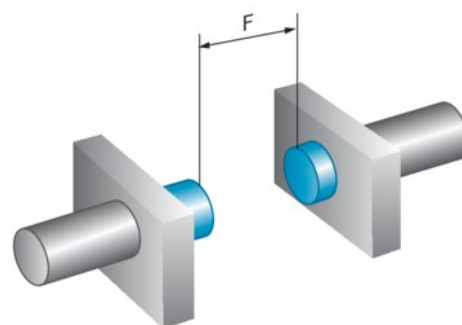
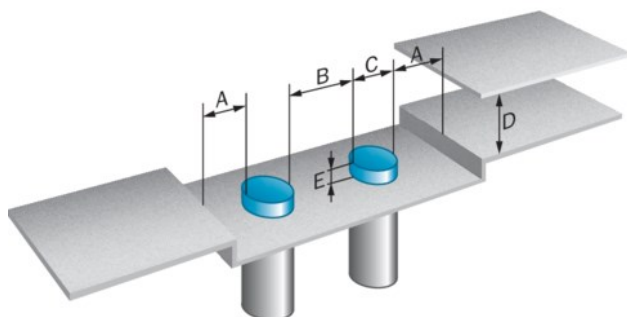
Pro nastavení koncových poloh a rozsahů pohybů jsem volil bezdotykové indukční snímače výrobce SICK IME08-04NPSZRDSS02. Pro umístění snímačů musí být dodrženy předepsané zástavbové rozměry (Obrázek 34). [21]

Tabulka 7 – Parametry snímače

Velikost závitu	M8 x 1
Zajištěná snímací vzdálenost	4 mm
Spínací frekvence	4.000 Hz
Funkce výstupu	Spínací
Napájecí napětí	10 V DC
Příkon	10 mA
Zpoždění po zapnutí	≤ 100 ms
Hystereze	5 %
A	8 mm
B	18 mm
C	8 mm
D	12 mm
E	8 mm
F	32 mm



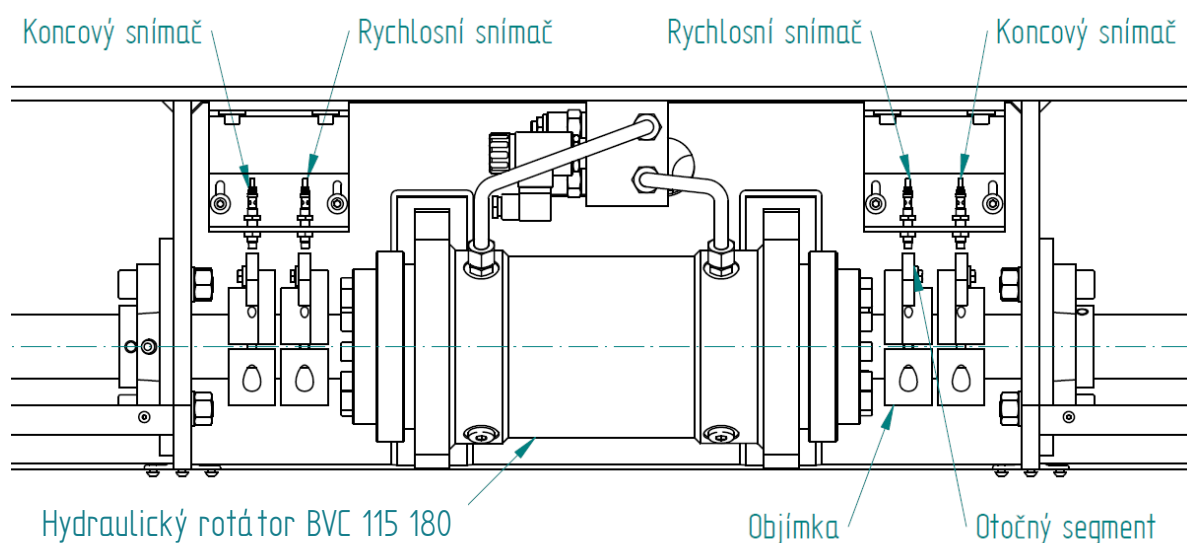
- ① Připojení
- ② LED kontrolka
- ③ Upevňovací matice (2x); vel. 13, kov



Obrázek 34 – Rozměry a parametry použitých indukčních snímačů [21]

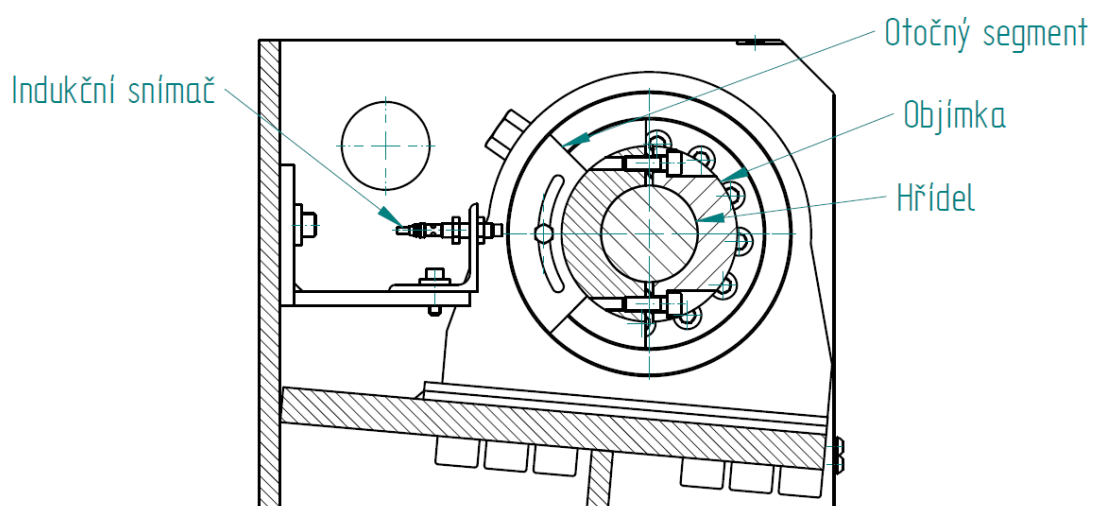
Pro zabezpečení požadovaných poloh jsou použity čtyři indukční snímače, které jsou staticky upevněny na rámu manipulátoru. Polohu indukčního snímače je možno nastavit na detekční vzdálenost seřízením mezi dvěma upevňovacími maticemi. Každý snímač detekuje přítomnost vlastního segmentu. Na hřídeli manipulátoru jsou upevněny čtyři ocelové segmenty upevněné na vyrobených objímkách umožňujících natočení segmentu na požadovanou snímanou polohu (Obrázek 35). Dva krajní segmenty umožňují nastavit počáteční a koncovou polohu ramene manipulátoru. Dva vnitřní segmenty nastavují úhel, po

kterém se rameno pohybuje se sníženou rychlostí. Vhodným natočením segmentů na hřídeli jsou nastaveny jednotlivé koncové polohy a rozsahy pohybů ramen manipulátoru.



Obrázek 35 – Umístění snímačů a segmentů půdorys

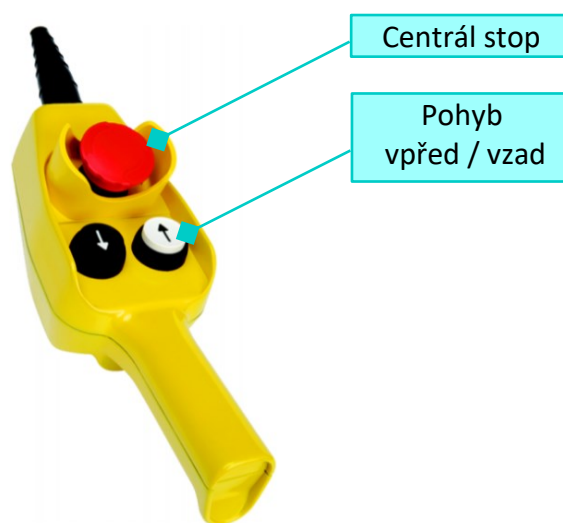
Objímka se skládá ze dvou dílů vyrobených z polyamidu, které jsou pomocí šroubů staženy na hřídeli manipulátoru (Obrázek 36). Segmenty na hřídeli je možné natočit po povolení příslušných šroubů. Jemné seřízení lze provést posunem na drážce ocelového segmentu.



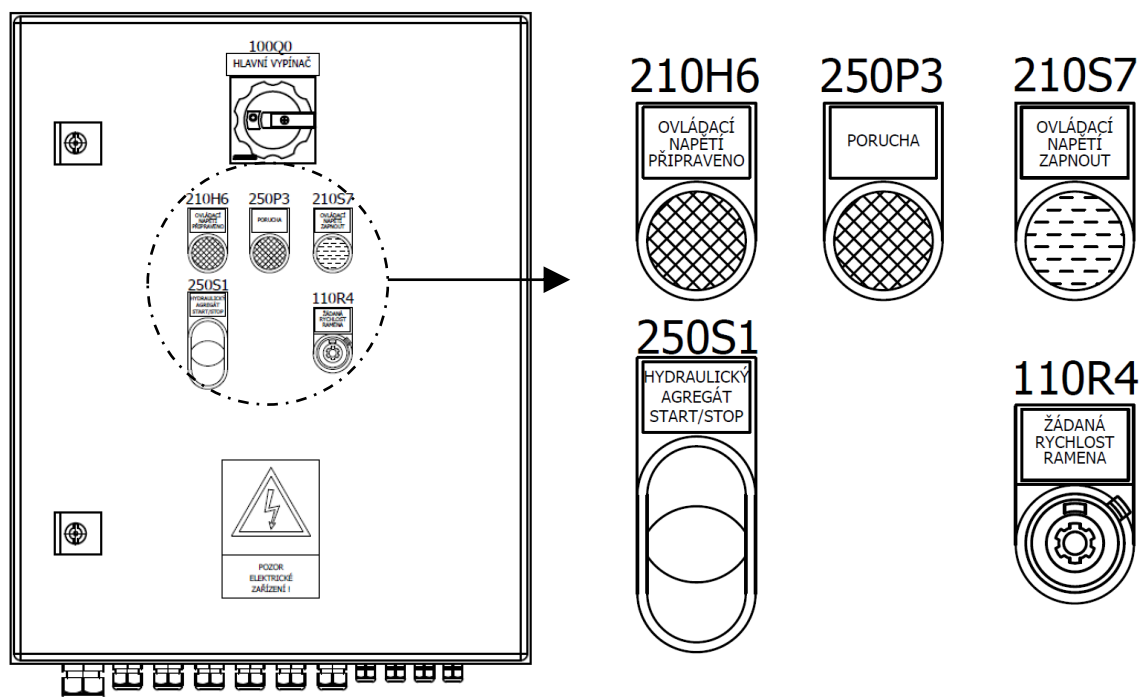
Obrázek 36 – Umístění indukčního snímače a segmentu

## 4.7 Ovládací prvky

Ovládání pohybu ramen manipulátoru provádí obsluha stlačením příslušného tlačítka vpřed nebo vzad na závěsném ovladači (Obrázek 37). Závěsný ovladač je vybaven bezpečnostním tlačítkem „centrál stop“, které při stisknutí odpojí zařízení od zdroje napětí. Při stisknutí tlačítka dojde k sepnutí příslušné cívky elektromagnetu proporcionálního rozváděče a tím k pohybu ramen manipulátoru v požadovaném směru. Při povolení tlačítka dojde k zastavení pohybu ramen v aktuální poloze. K ovládání je použit ergonomický závěsný ovladač typ 800 F-PX30C. Požadovanou rychlost pohybu ramen v počáteční a koncové poloze je možné nastavit na otočném ovladači umístěném na elektrorozvaděči (Obrázek 38). Elektromotor hydraulického pohonu je spínán tlačítkem na elektrorozvaděči, který je umístěn na zadní straně konstrukce manipulátoru.



Obrázek 37 – Závěsný ovladač pro pohyb ramen manipulátoru [22]

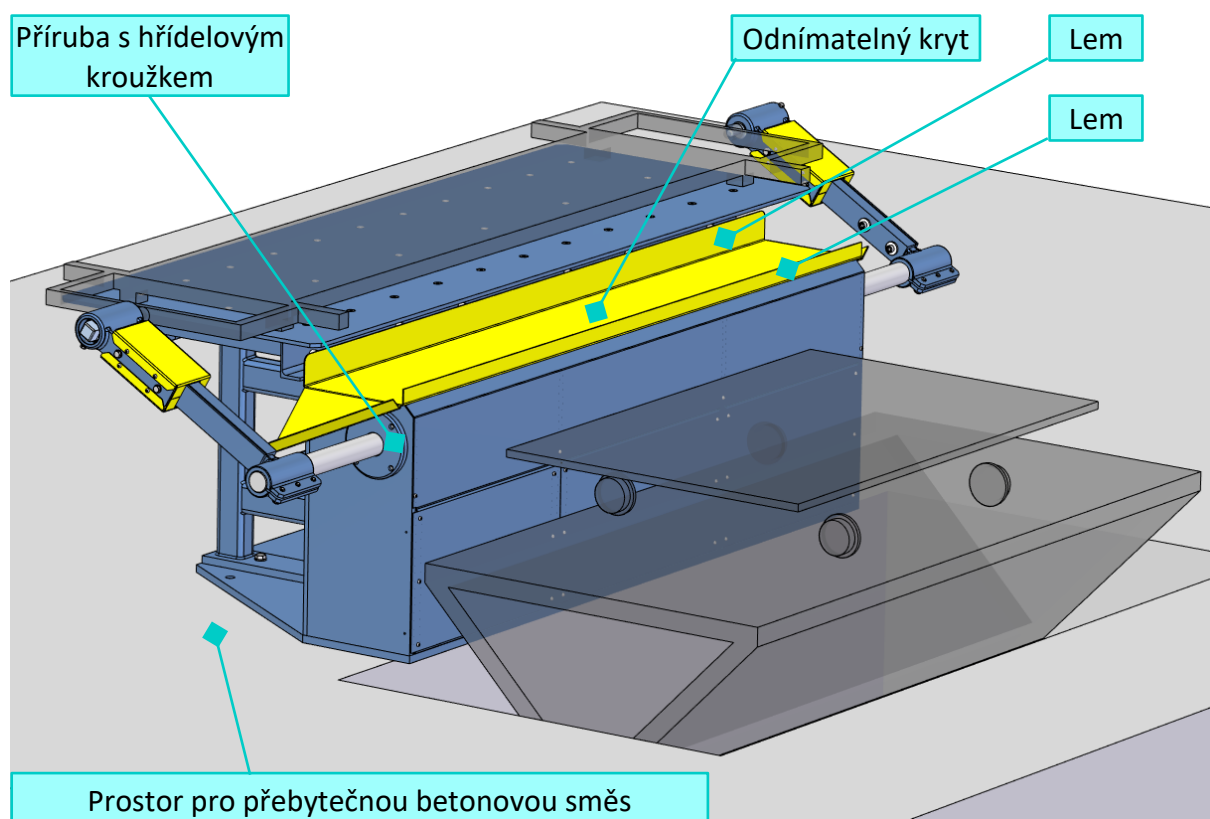


Obrázek 38 – Ovládací prvky na elektrorozvaděči

## 4.8 Krytování manipulátoru

S ohledem na provozní podmínky a návaznost manipulátoru na další zařízení ve výrobní lince bylo nutné osadit manipulátor vhodným krytím. Kryt manipulátoru musel být navržen tak, aby zabezpečil zakrytí pohonu a zároveň zamezil přepadům přebytečné betonové směsi z desky vibračního stolu formy a její konstrukce do prostoru zvedací plošiny. Krytování musí také umožňovat jednoduchý přístup k prvkům pohonu a hydraulickému agregátu.

Řešením bylo navržení krytu nasazeného na konstrukci manipulátoru s vhodným tvarem, který zabezpečí zachycení maximálního množství přebytečné betonové směsi a její jednoduché odstranění do předem určeného prostoru (Obrázek 39). Kryt je po stranách opatřen lemem, který zamezuje přepadům přebytečného materiálu. Po stranách je kryt opatřen zalomením a lemem, který usměrňuje přebytečný materiál do předem určeného prostoru. Po jednoduchém sejmutí krytu je možný přístup k prvkům pohonu a lze provést nastavení poloh ramene, nebo kontrolu prvků pohonu. K zamezení vniknutí nečistot do prostoru uložení hřídele jsou po stranách použity příruby s vloženými hřídelovými kroužky.



Obrázek 39 – Krytování manipulátoru

## 5 Doporučení pro bezporuchový chod zařízení

Zařízení bylo konstruováno na nejnovější technické úrovni. V případě neúčelného použití však může dojít k ohrožení zdraví a života uživatele, resp. k věcným škodám na zařízení. Bezporuchový chod stroje předpokládá pravidelné kontroly předurčených částí zařízení. V této kapitole jsou uvedena opatření, která musí operátor provádět v pravidelných intervalech, aby byl zajištěn bezporuchový chod.

### Denní kontrola

- Kontrola úniku provozní kapaliny hydrogenerátoru.
- Kontrola upevnění ramen. Pokud ramena vykazují vůli, dotažení příslušných šroubových spojů předepsaným momentem.
- Kontrola ovládacího zařízení (nožní spínač, závěsný spínač), zařízení nesmí vykazovat známky poškození.
- Kontrola funkce ovládacích prvků sepnutí a vypnutí vibračních motorů, pohybu hydraulického ramene.

### Týdenní kontrola

- Provedení kontroly válcových pružin uchycení vibračního stolu a kontroly válcových pružin hydraulického ramene. V případě známek poškození výměna pružin.
- Kontrola dotažení šroubů vibrační desky a rámu. Pokud vykazují vůli, dotažení příslušných šroubových spojů předepsaným momentem.

### Měsíční údržba

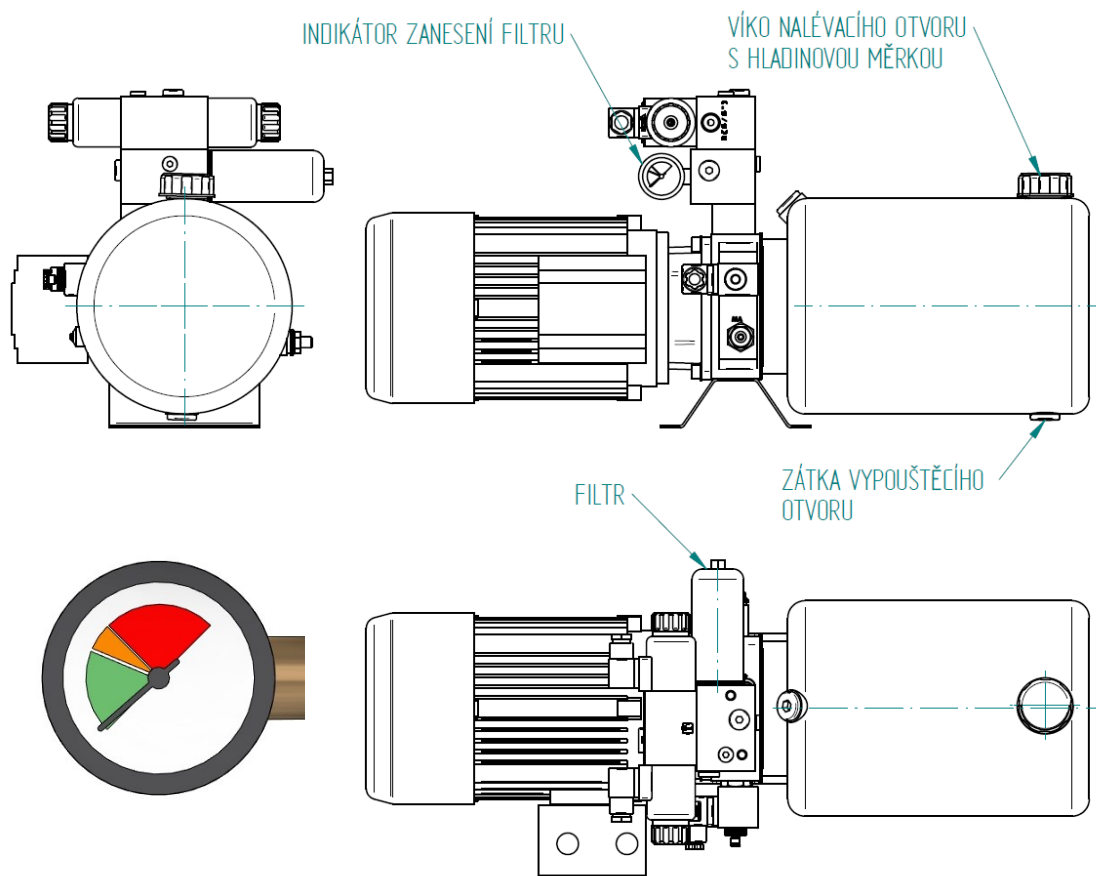
- Provedení optické kontroly hydraulického agregátu a hydraulického vedení, zejména poškození hadic a šroubení.
- Kontrola hladiny hydraulického oleje.

### Roční údržba

- Domazání ložiskových kompletů UCFC 211 plastickým mazivem MOGUL K 3 (NLGI 2-3)

## 5.1 Výměna provozní kapaliny hydraulického pohonu

Filtrační vložky a náplň oleje je nutné měnit po 1000 provozních hodinách, max. po jednom roce. Při doplňování nebo výměně provozní kapaliny je nutné dodržet předepsanou kapalinu minerální olej třídy HM dle ISO 6743/4 s viskozitou VG 46. Filtrační vložky je nutné vyměnit, pokud je indikátorem signalizováno zanesení (Obrázek 40). Pokud ručička indikátoru zanesení filtru dosahuje pole zvýrazněného oranžovou barvou, musí být vyměněna filtrační vložka. Při výměně je třeba vyčistit nádrž hydraulické kapaliny. Následně je vhodné propláchnout celý hydraulický systém, protože v čerpadle, v potrubí a rotátoru se nachází velké množství kapaliny. Novou kapalinu je nutné do nádrže přečerpat přes filtry, které mají minimálně takovou filtrační schopnost jako předepsané provozní filtry v hydraulickém okruhu. Při výměně provozní kapaliny je nutné vyměnit filtrační vložky. [23]



Obrázek 40 – Indikace zanesení filtru

## 5.2 Náhradní díly

Při používání zařízení dochází k opotřebení některých dílů. Výměnu těchto dílů je nutné provést v pravidelných intervalech, nebo při známkách opotřebení. Tyto díly je možné objednat u výrobce zařízení, nebo u výrobce jednotlivých dílů. Náhradní díly jsou označeny objednacím kódem případně typovým označením (Tabulka 8).

Tabulka 8 – Náhradní díly

Název	Typové označení	ks
Hydraulický manipulátor		
Ložiskový komplet	UCFC 211	4
Válcová pružina	65/35 TYP2/M10x16,6 040757	12
Těsnící kroužek	GP 55-80-8	2
Svěrná pouzdra	Pouzdro RCK 13 - 55x85	2
Indukční snímač	IME08-04NPSZRDSS02	4
Čep uchycení rámu formy	147/0002/014	2
Těsnící hřídelový kroužek	GP 55-80-8; PN 02 9403	2
Hydraulický agregát		
Vložka odpadního filtru	V60403020	1
Sedlový rozváděč	ROE3-042S5	1
Brzdový ventil	SO5A-BP3	2
Sada sacího filtru	91003099.000	1
Sedlový rozváděč	CRP0418NCAEM003 + V86050002	1
Pojistný ventil se zpětným ventilem	CMPR04S03002	1
Hydrogenerátor	17050007.018	1



## 6 Zhodnocení řešení

Zařízení jsem navrhoval na základě požadavků zákazníka. Před samotným návrhem jsem si se zákazníkem upřesnil hlavní požadavky kladené na zařízení, konkrétní parametry jsou uvedeny v kapitole 2.3. Při návštěvě v provozu jsme společně provedli zaměření zástavbových rozměrů a zhodnotili možná řešení a představy zákazníka. Na základě získaných informací jsem zpracoval návrh řešení kinematiky pohybu ramen, volbu pohonné jednotky a konstrukční řešení.

Tento návrh byl představen zákazníkovi, kdy byly upřesněny výsledné parametry. S ohledem na provozní zkušenosti zákazníka byl dořešen systém upnutí formy a použití pružných segmentů na ramenech manipulátoru k zamezení přenosu vibrací z desky vibračního stolu do konstrukce manipulátoru. Na základě doporučení a zkušeností zákazníka jsem použil pro odtlumení vibrací pryžové pružiny Rubena 65/35 TYP2/M10x16,6 kód 040757. V této fázi bylo také dořešeno krytování manipulátoru s ohledem na zvedací plošinu, tak aby nedocházelo k přepadávání přebytečné betonové směsi do prostoru zvedací plošiny.

Z mé vlastní zkušenosti jsem přesvědčen, že kvalitní komunikace se zákazníkem v průběhu návrhu jakéhokoli zařízení vede k maximální optimalizaci již ve fázi návrhu a tím k minimalizaci nákladů na dodávané zařízení.



Obrázek 41 – Nasazení zařízení v provozu

## 7 Závěr

V této diplomové práci se zabývám návrhem hydraulického manipulátoru sloužícího k přesunu formy se zhutněnou betonovou směsí z desky vibračního stolu na odkládací plošinu. Zařízení je součástí výrobní linky na výrobu dílů betonových plotů. Hlavním úkolem bylo navrhnout zařízení s ohledem na technologii výroby, dodržení požadavků kladených na toto zařízení zadavatelem a bezpečnost provozu. Samotný manipulátor byl navrhován v součinnosti s návrhem vibračního stolu, který je jeho součástí. Detailní řešení vibračního stolu není součástí této práce z důvodu rozsahu práce. Manipulátor byl dle tohoto návrhu vyroben a slouží svému účelu.

Diplomová práce obsahuje schéma navrženého hydraulického obvodu s potřebnými výpočty pro volbu jednotlivých prvků. Pohon a systém řízení byl navržen s ohledem na výrobní technologii linky, kinematiku manipulátoru a požadavku zákazníka na snížení rychlosti ramen manipulátoru v jeho koncových polohách. Požadavek na řízení změn rychlostí pohybů v jednotlivých fázích přesunu je řešeno s využitím proporcionálního rozváděče. Toto řešení umožnilo jednoduché nastavení požadovaných rychlostí dle potřeb výrobní technologie a jejich případnou změnu s ohledem na výrobní sortiment.

Další část práce popisuje vlastní konstrukční návrh manipulátoru. V této části je řešen mechanismus pro přenos točivého momentu z pohonu na ramena manipulátoru, umístění pohonu a snímačů poloh. Tato část obsahuje technické řešení s popisy a parametry hlavních funkčních dílů, uložení rotačních hřídelí a výpočty svěrných spojů. Je zde také popsáno řešení ramen manipulátoru s ohledem na zamezení přenosu vibrací z desky vibračního stolu přes formu do konstrukce manipulátoru. Dále je v této části popsáno řešení ovládacích prvků zařízení.

Závěrečná část práce obsahuje doporučení pro bezporuchový provoz zařízení a zhodnocení výsledného řešení. Vzhledem k funkčnímu provozu manipulátoru a k referencím zadavatele je možno konstatovat, že zařízení splňuje zadané požadavky a slouží k danému účelu.

## Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Dr. Ing. Lumíru Hružíkovi za odbornou pomoc, konzultace, ochotu a vstřícnost při vytváření této diplomové práce.

Děkuji majitelům firmy SUM ODRY, s.r.o. panu Drahomíru Lustigovi a panu Dušanu Lustigovi, za možnost použít k diplomové práci jeden z firemních projektů.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy, díl 1. Kapaliny v hydraulických mechanismech. Hydrostatické převodníky*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009, 2. vyd., 156 s. ISBN 978-80-248-0857-4.
- [2] PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy, díl 2. Řídicí prvky hydrostatických systémů. Příslušenství hydraulických obvodů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008, 2. vyd., 140 s. ISBN 978-80-248-1827-6.
- [3] KOPÁČEK, Jaroslav. *Pohony a převody*. 2. vyd. [i.e. 3. vyd.]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2780-3.
- [4] MURRENHOFF, H. *Fundamentals of Fluid Power. Part 1: Hydraulics*. Aachen: Verlag GmbH. 2014, 387 p. ISBN 978-3-8440-2826-3.
- [5] EXNER, H. et al. *Hydraulics, Basic Principles and Components*. Würzburg, Germany: Bosch Rexroth AG., 2011. 326 p. ISBN 978-3-9814879-3-0.
- [6] WILL, D., GEBHARDT, N. *Hydraulik Grundlagen, Komponenten, Schaltungen*. Berlin: Springer, 2008, 4. vyd., 450 s. ISBN 978-3-540-79534-6.
- [7] SCHMID, Dietmar. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*. Praha: Europa-Sobotáles cz., 2005. ISBN 80-86706-10-9.
- [8] DEJL, Z. *Konstrukce strojů a zařízení I: spojovací části strojů: návrh, výpočet, konstrukce*. Ostrava: Montanex, 2000. ISBN 80-722-5018-3.
- [9] *HKS\_Attachments* [online]. [cit. 2020-02-08]. Dostupné z: [https://www.hks-partner.com/fileadmin/Home/Downloads/Kataloge/HKS\\_Attachments.pdf](https://www.hks-partner.com/fileadmin/Home/Downloads/Kataloge/HKS_Attachments.pdf)
- [10] *Technical CatalogueK: FP HYDRAULIC POWER PAC* [online]. 2019 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://medialibrary.dana-industrial.com/wp-content/uploads/Technical-catalogue-FP.pdf>
- [11] *Návod k použití – příložené vibrátory řady VO a VA, VF. Webac Vibro s.r.o, 2010.*
- [12] *Příručka technologa – BETON: SUROVINY – VÝROBA – VLASTNOSTI* [online]. Českomoravský cement, 2013 [cit. 2020-01-12]. Dostupné z: <http://www.betonuniversity.cz/stahnout-soubor?id=1025>
- [13] *Ploty Hýl: Aktuality, NOVÝ VZOR L5* [online]. [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://www.ploty-hyl.cz/aktuality/novy-vzor-l5/>
- [14] *Spouštěcí brzdící ventil SO5A-BP3* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: [https://www.argo-hytos.com/fileadmin/user\\_upload/Katalog\\_SO5A-BP3\\_hc5199\\_CZ.pdf](https://www.argo-hytos.com/fileadmin/user_upload/Katalog_SO5A-BP3_hc5199_CZ.pdf)

- [15] *2/2 elektromagneticky ovládaný sedlový ventil, přímo řízený ROE3-042S5(S6)* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: [https://www.argo-hytos.com/fileadmin/user\\_upload/Katalog\\_ROE3-042S5\\_S6\\_hc4055\\_CZ.pdf](https://www.argo-hytos.com/fileadmin/user_upload/Katalog_ROE3-042S5_S6_hc4055_CZ.pdf)
- [16] *Elektromotory.net* [online]. [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <https://www.elektromotory.net/siemens/1400-ot-min-1/1le1001-0db62-1-1kw-1440ot.htm>
- [17] *Catalog: Proportional valves & cartridges* [online]. [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: <http://www.atos.com/online/en/search/?text=dhze>
- [18] *Ložisková tělesa série UCFC 200* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.retezyolomouc.cz/download/product/144/ucfc-200.pdf>
- [19] *Samostředící svěrná hřídelová pouzdra RCK 13* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.retezyolomouc.cz/download/product/108/rck-13.pdf>
- [20] *Silentbloky* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.rubena.eu/underwood/download/files/dampers.pdf>
- [21] *SICK-Indukční snímače* [online]. [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/indukcni-snimace/indukcni-snimace/ime/ime08-04npszrdss02/p/p228422>
- [22] *Elisch.cz* [online]. [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <http://www.elisch.cz/wp-content/uploads/2015/08/essentialcz.pdf>
- [23] *Návod k obsluze hydraulického agregátu: HY-4522-01*. HYDROCOM®, spol. s r. o., Havránkova 11, 619 00 BRNO, 2019.
- [24] *Prodejní katalog hutního\_2017* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.hydraulics.cz/wcd/pdf/chromovanetyce.pdf>
- [25] HALAMA, R. *Pružnost pevnost* [online]. 2012 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: [http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/pruznost\\_pevnost\\_obraz.pdf](http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/pruznost_pevnost_obraz.pdf)
- [26] *Koeficient bezpečnosti* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: [http://www.mitcalc.com/doc/help/cz/c\\_safety.htm](http://www.mitcalc.com/doc/help/cz/c_safety.htm)

## Seznam obrázků

<i>Obrázek 1 – Finální produkt výrobní linky [13]</i> .....	11
<i>Obrázek 2 – Schéma výrobní linky</i> .....	13
<i>Obrázek 3 – Usměrněné kmity dvojice vibromotorů [11]</i> .....	14
<i>Obrázek 4 – Kinematika pohybu</i> .....	16
<i>Obrázek 5 – Kinematické schéma</i> .....	17
<i>Obrázek 6 - Moment setrvačnosti ramena a formy se směsí 3D Solid Edge</i> .....	19
<i>Obrázek 7 – Rotátor BVC Popis [9]</i> .....	23
<i>Obrázek 8 – Schéma hydraulického obvodu</i> .....	27
<i>Obrázek 9 – Řešení indukčních snímačů a otočných segmentů</i> .....	29
<i>Obrázek 10 - Hydraulický agregát rozklad</i> .....	31
<i>Obrázek 11 Základní blok FPC1 [10]</i> .....	32
<i>Obrázek 12 - Hydrogenerátor P1122 [10]</i> .....	32
<i>Obrázek 13 - Pojistný ventil se zpětným ventilem [10]</i> .....	33
<i>Obrázek 14 - Sedlový rozváděč [10]</i> .....	33
<i>Obrázek 15 - Ocelová nádrž [10]</i> .....	33
<i>Obrázek 16 – Elektromotor 1LE1001-0DB62 [16]</i> .....	34
<i>Obrázek 17 - Spojovací sada pohonu hydrogenerátoru [10]</i> .....	34
<i>Obrázek 18 - Blok s odpadním filtrem a indikátorem zanesení [10]</i> .....	35
<i>Obrázek 19 - Sada sacího filtru pro horizontální nádrž [10]</i> .....	35
<i>Obrázek 20 – Řídící blok, schéma zapojení, příklad komory [14]</i> .....	36
<i>Obrázek 21 – Vestavný brzdový ventil, schématická značka [14]</i> .....	37
<i>Obrázek 22 – Vestavný 2/2 rozváděč ROE3, schématická značka [15]</i> .....	40
<i>Obrázek 23 – Proporcionální rozváděč DHZE-A-071 [17]</i> .....	41
<i>Obrázek 24 – Popis manipulátoru</i> .....	45
<i>Obrázek 25 – Pohled na odkrytovaný manipulátor</i> .....	46
<i>Obrázek 26 – Sestava manipulátoru a vibračního stolu</i> .....	47
<i>Obrázek 27 – Detail umístění pohonu manipulátoru</i> .....	48
<i>Obrázek 28 – Umístění pohonu manipulátoru</i> .....	49
<i>Obrázek 29 – Uložení hřídele pravá polovina</i> .....	50
<i>Obrázek 30 - Zatížení hřídele</i> .....	52
<i>Obrázek 31 – Rameno manipulátoru</i> .....	54

<i>Obrázek 32 - Parametry pružiny [20].....</i>	<i>55</i>
<i>Obrázek 33 – Rozbor sil navrženého svěrného pouzdra .....</i>	<i>55</i>
<i>Obrázek 34 – Rozměry a parametry použitých indukčních snímačů [21].....</i>	<i>58</i>
<i>Obrázek 35 – Umístění snímačů a segmentů půdorys.....</i>	<i>59</i>
<i>Obrázek 36 – Umístění indukčního snímače a segmentu .....</i>	<i>59</i>
<i>Obrázek 37 – Závěsný ovladač pro pohyb ramen manipulátoru [22].....</i>	<i>60</i>
<i>Obrázek 38 – Ovládací prvky na elektrorozvaděči.....</i>	<i>60</i>
<i>Obrázek 39 – Krytování manipulátoru .....</i>	<i>61</i>
<i>Obrázek 40 – Indikace zanesení filtru .....</i>	<i>63</i>
<i>Obrázek 41 – Nasazení zařízení v provozu.....</i>	<i>65</i>

## **Seznam tabulek**

<i>Tabulka 1 – Parametry rotátoru [9].....</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 2 – Základní parametry hydraulického obvodu .....</i>	<i>28</i>
<i>Tabulka 3 – Technické parametry brzdých ventilů SO5A-BP3 [14].....</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 4 – Základní parametry rozváděče DHZE [17].....</i>	<i>42</i>
<i>Tabulka 5 - Technické parametry manipulátoru a vibračního stolu .....</i>	<i>44</i>
<i>Tabulka 6 – Mechanické vlastnosti materiálu pístních tyčí [24].....</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka 7 – Parametry snímače .....</i>	<i>58</i>
<i>Tabulka 8 – Náhradní díly.....</i>	<i>64</i>

## **Seznam grafů**

<i>Graf 1 – Průběh zátěžového momentu na úhlu natočení ramene.....</i>	<i>20</i>
<i>Graf 2 – Průběh rychlosti pohybu ramene v závislosti na poloze .....</i>	<i>22</i>
<i>Graf 3 – Průběh momentu v závislosti na tlaku .....</i>	<i>25</i>
<i>Graf 4 – Tlaková ztráta brzdného ventilu v závislosti na průtoku [14].....</i>	<i>39</i>
<i>Graf 5 – Výkonová charakteristika rozváděče [17].....</i>	<i>43</i>
<i>Graf 6 – Závislost průtoku na řídicím signálu [17].....</i>	<i>43</i>

## Seznam příloh

*Příloha A..... 147 0002 H – Hydraulické schéma.pdf*

*Příloha B.....147 0002 S01 – Vibrační stůl - sestava.pdf*

*Příloha C..... 147 0002 S02 – Hydraulický manipulátor.pdf*